Il piano dell'Opera

Testi collegati

- **MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA**
  Manuali tematici *con CD Rom*
- **Manuale del recupero dei centri storici della Marmilla del Sarcidano dell'Arci e del Grighine**
  con CD Rom
  a cura di C. Atzeni, M. Manias
- **Manuale del recupero del Comune di Roma**
  Ufficio Speciale per gli interventi sul Centro Storico del Comune di Roma
- **Manuale del recupero della Regione Abruzzo** *con CD Rom*
  S. Ranellucci
- **Manuale del recupero della Regione Marche** *con CD Rom*
  S. Ranellucci
- **Manuale del recupero di Genova antica** *con CD Rom*
  a cura di G. Mor, G. V. Galliani
- **Manuale del recupero del Comune di Città di Castello**
  a cura di F. Giovanetti
- **Manuale del recupero urbano della città di Jesi**
  a cura di M. Agostinelli, P. Diotallevi, M.M. Scocciante
- **Linee guida per il Recupero architettonico** *con CD Rom*
  S. Franceschi, L. Germani
- **Manuale per la riabilitazione e ricostruzione postsismica degli edifici** *con CD Rom*
  Regione Umbria
- **Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura, 2 vol.** *con CD Rom*
  M. Mariani
- **Manuale del recupero strutturale e antisismico** *con CD Rom*
  G. Cangi

per informazioni **www.build.it**

Il contenuto

Il **Manuale Tematico della Pietra** è il naturale complemento al Manuale Tematico della Terra, essendo stati questi i due materiali con i quali sono stati edificati tutti i Centri Storici della Sardegna, ed è da considerarsi di supporto sia al Manuale dell'Architettura in Pietra delle Barbagie, del Nuorese e delle Baronie, che agli altri Manuali di quest'opera in cui si parla dell'utilizzo del materiale litoide, quali quello del Sulcis e dell'Iglesiente e quelli delle colline e degli altipiani centrali e settentrionali, trattando il lapideo da un punto di vista della sua genesi, ma anche della sua disponibilità e delle sue applicazioni.

Trovanti o cantoni lavorati, i lapidei in granito, basalto, trachite, calcare, ma anche in scisto, hanno sempre identificato i Paesi di origine, seguendo la logica millenaria, in questo caso anche economica, di utilizzare i materiali disponibili in loco.

Specifici capitoli vengono dedicati ai lineamenti geologici dell'Isola, alle caratteristiche tecnologiche e di durevolezza delle diverse tipologie di materiale lapideo, ai materiali complementari quali malte, intonaci ed elementi di copertura come le tegole ed alle principali cause di degrado sia naturale che antropico, mettendo in particolare l'accento sulle problematiche legate all'abbandono.

Quale denominatore comune a tutti i Manuali, vengono suggerite, anche attraverso alcuni casi di studio, quelle che si ritengono le buone pratiche da seguire nel recupero e nella conservazione dei Centri Storici della Sardegna, ritenendo in questo modo di poter fornire agli operatori del settore un utile strumento di lavoro.

Nel Cd Rom

Il volume in formato .pdf

REQUISITI TECNICI
WIN 9x/2000/XP oltre al pacchetto Microsoft Office (Word/Excel)

ISBN 978.88.496.6821.6
9 788849 668216

II volume 2

il manuale tematico della pietra

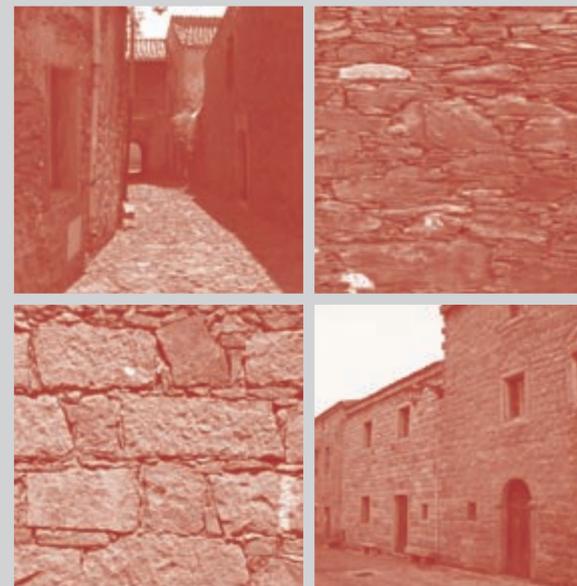
I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA

il manuale tematico della pietra

a cura di
Ulrico Sanna
Cirillo Atzeni

con testi di
Silvana Grillo
Silvia Mocci
Giorgio Pia
Nannina Spanu
Luca Tuveri

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

L'Opera

I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA sono anzitutto un nuovo tassello di quel mosaico di strumenti consimili che ha il suo prototipo nel Manuale del Recupero di Roma, pubblicato proprio venti anni fa, e che sta potentemente contribuendo a rendere sempre più consapevole e adeguato l'intervento sui tessuti edilizi pre moderni.

I nuovi Manuali della Sardegna costituiscono un contributo di conoscenza e uno stimolo, oltre che uno strumento operativo, che la Regione Autonoma della Sardegna e le Università sarde vogliono offrire alle comunità locali ed agli operatori per dare gambe e corpo ad un progetto di sviluppo centrato sull'identità dello spazio di vita e sulle culture materiali delle comunità stesse. Questo nuovo ruolo dei centri storici è sancito dal Piano Paesaggistico Regionale: il paese, con i suoi vicoli, i muri in pietra o in terra, è un Bene paesaggistico esattamente come un nuraghe o una chiesa romanica, e con essi dialoga per costituire la trama portante dell'identità e dell'autoriconoscimento della Sardegna.

Nello stesso tempo, questi Manuali dialogano con gli omologhi di altre regioni e città e attivano un confronto e un'apertura estremamente stimolanti.

I Manuali vengono pubblicati come volumi di una collana che copre per ora tutta la Sardegna "rurale" – che costituisce peraltro gran parte dell'insediamento regionale, in quanto soltanto sette centri su poco meno di quattrocento hanno lo statuto di città.

Si è quindi diviso il territorio dell'isola in grandi "regioni" dotate di una cultura costruttiva (relativamente) omogenea: cinque macroambiti per ciascuno dei quali un Manuale dedicato analizza e disegna:

- il quadro ed i processi territoriali di formazione e trasformazione del patrimonio storico
- le "culture abitative", ovvero l'articolazione spaziale della casa storica
- le "culture costruttive", ovvero i caratteri e gli elementi della fabbrica edilizia
- le linee guida per un recupero possibile delle diverse forme di degrado in atto.

Questi Manuali "territoriali" sono integrati da Manuali "tematici", che analizzano in maniera specialistica alcuni caratteri peculiari delle costruzioni storiche della Sardegna, quali ad esempio il vasto e problematico campo delle architetture fatte di mattoni di terra cruda.

I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA

il manuale tematico della pietra

a cura di
Ulrico Sanna
Cirillo Atzeni

con testi di
Silvana Grillo
Silvia Mocci
Giorgio Pia
Nannina Spanu
Luca Tuveri

I Manuali del Recupero nascono nel quadro delle iniziative della Regione Sardegna e del suo Assessorato all'Urbanistica dirette a fornire strumenti sempre più approfonditi nella fase attuativa della pianificazione paesaggistica regionale.
I Manuali sono progettati per supportare gli Enti Locali nel passaggio ad una gestione "di qualità" degli interventi sul patrimonio edilizio storico, in termini di manutenzione, restauro e riqualificazione.
I Manuali sono dunque ispirati ad una filosofia di affiancamento e servizio, che presuppone che ciascun Comune li utilizzi per costruire i necessari approfondimenti e sviluppi in sede locale, in ragione delle specificità dei caratteri spaziali e costruttivi del proprio patrimonio edilizio e urbano storico.

L'elaborazione dei Manuali è affidata al D'arch - Dipartimento di Architettura dell'Università di Cagliari, in collaborazione con il Dipartimento di Architettura e Pianificazione dell'Università di Sassari, e prevede la supervisione di un Comitato Scientifico coordinato dal prof. Antonello Sanna e composto dai proff. Giulio Angioni, Carlo Aymerich, Xavier Casanovas i Boixereu, Giancarlo Deplano, Francesco Giovanetti, Tatiana Kirova, Giovanni Maciocco, Stefano Musso, Gian Giacomo Ortu, Ulrico Sanna, Paolo Scarpellini.

Il Manuale Tematico della Pietra è a cura di **Cirillo Atzeni e Ulrico Sanna,** che ha anche svolto il coordinamento tecnico-scientifico.
I testi sono di **Silvana Grillo** (capitolo 1), **Cirillo Atzeni, Giorgio Pia e Ulrico Sanna** (capitoli 2, 5 e 6), **Cirillo Atzeni e Ulrico Sanna** (capitolo 3), **Cirillo Atzeni e Nannina Spanu** (capitolo 4), **Luca Tuveri** (Capitolo 7, paragrafo 7.1) **Silvia Mocci** (Capitolo 7, pargrafo 7.2, 7.3, 7.4), **Ulrico Sanna** (Capitolo 8).

Sugli argomenti del manuale sono stati elaborati alcuni lavori di tesi che hanno coinvolto gli studenti **Elisabetta Colato, Laura Corda, Serena Cozzolino, Laura Macciò, Chiara Pibiri e Andrea Pinna,** del Corso di Laurea in "Tecnologie per la Conservazione ed il Restauro dei Beni Culturali" (relatore Ulrico Sanna).

L'apparato di rilievo e illustrativo e la documentazione fotografica del capitolo 7 sono stati redatti da un gruppo di lavoro coordinato da Carlo Atzeni, composto da Silvia Carrucciu, Roberta Di Simone, Romina Marvaldi, Silvia Mocci, Barbara Pau, Paolo Spiga.

Infine la redazione del capitolo 7 di questo Manuale non sarebbe stata possibile senza la disponibilità offerta dai progettisti Alessio Bellu, Maurizio Manias, Gianfranco Poddighe, Gianfranco Sanna, Franceschino Serra, Luca Tuveri, nel fornire la documentazione fotografica e gli elaborati progettuali.

L'Editing è stato curato da Romina Marvaldi con la collaborazione di Roberta Di Simone e Silvia Carrucciu.

In memoria di Cirillo Atzeni
recentemente scomparso.

IL MANUALE TEMATICO DELLA
PIERTA
CARATTERI, TECNOLOGIE, BUONE PRATICHE

Indice:

capitolo 1

NOTIZIE GEOLOGICHE PETROGRAFICHE E STORICHE

Fig 1.1. Casa realizzata in prevalenza con conci di metamorfite e subordinatamente carbonatici.

1.1. LINEAMENTI GEOLOGICI DELLA SARDEGNA

Le prime conoscenze geologiche sulla Sardegna sono legate al geologo Alberto La Marmora che svolse studi nell'Isola dal 1820 al 1850 raccolti nel suo famoso Voyage en Sardaigne[11]. Un ulteriore importante progresso promosso da compagnie minerarie italiane e straniere si registra a partire dalla seconda metà dell'Ottocento in concomitanza con lo sviluppo dell'attività mineraria nell'importante bacino piombo zincifero del Sulcis Iglesiente. In poco più di un secolo, alla fine degli anni Sessanta, si raggiunge una conoscenza stratigrafica e strutturale di buon livello della Sardegna sud occidentale, cosa che invece non si può affermare per il resto dell'Isola. È solo negli anni 70-80, grazie al contributo delle scuole di Cagliari, Siena e Pisa, che viene delineato un quadro geologico completo di tutta la Sardegna.

L'evoluzione geologica della Sardegna data dal Precambrico (oltre 600 Ma) fino al Quaternario con la formazione di estesi complessi magmatici, metamorfici e sedimentari legati a importanti eventi orogenici e a periodi di quiete tettonica. (Figura 1.1)

A grandi linee, la caratteristica fondamentale della geologia della Sardegna è data da:

- un basamento paleozoico, affiorante principalmente in un'ampia fascia orientale da nord a sud e subordinatamente nel settore sud-occidentale dell'Isola, la cui formazione è correlata all'orogenesi ercinica che ha prodotto deformazioni, metamorfismo e un importante magmatismo intrusivo ed effusivo;
- una copertura vulcanica e sedimentaria di età compresa tra il tardo Paleozoico e il Quaternario.

Il basamento paleozoico è la struttura più importante che ha condizionato l'intero assetto geologico dell'Isola. Nel settore sud occidentale tale basamento è principalmente rappresentato dalla serie cambro-ordoviciana costituita da metarenarie, dolomie, metacalcari e filladi; nel settore centrale e sud orientale alla successione meta sedimentaria si associano potenti coperture di meta vulcaniti. I fenomeni metamorfici aumentano da sud a nord tanto che nelle zone più settentrionali le metamorfiti sono rappresentate anche da migmatiti. Negli stadi tardivi dell'orogenesi si completa la costituzione del basamento con la messa in posto del batolite granitoide sardo-corso (310 - 290 Ma).

Nel Carbonifero superiore la Sardegna è interessata da una fase tettonica distensiva di modesta entità ma ampiamente diffusa nella quale si sviluppa un ciclo vulcanico caratterizzato da ignimbriti riolitiche, brecce e tufi.

Tra la fine del Permiano e l'inizio del Trias, dopo un periodo di stabilità tettonica, si ha un nuovo ciclo vulcanico più importante con le stesse caratteristiche del precedente.

Tutto il Mesozoico è caratterizzato da stabilità tettonica e da numerosi eventi trasgressivi e regressivi che portano alla formazioni di depositi sedimentari di natura diversa. Il Trias, caratterizzato da diverse fasi di sedimen-

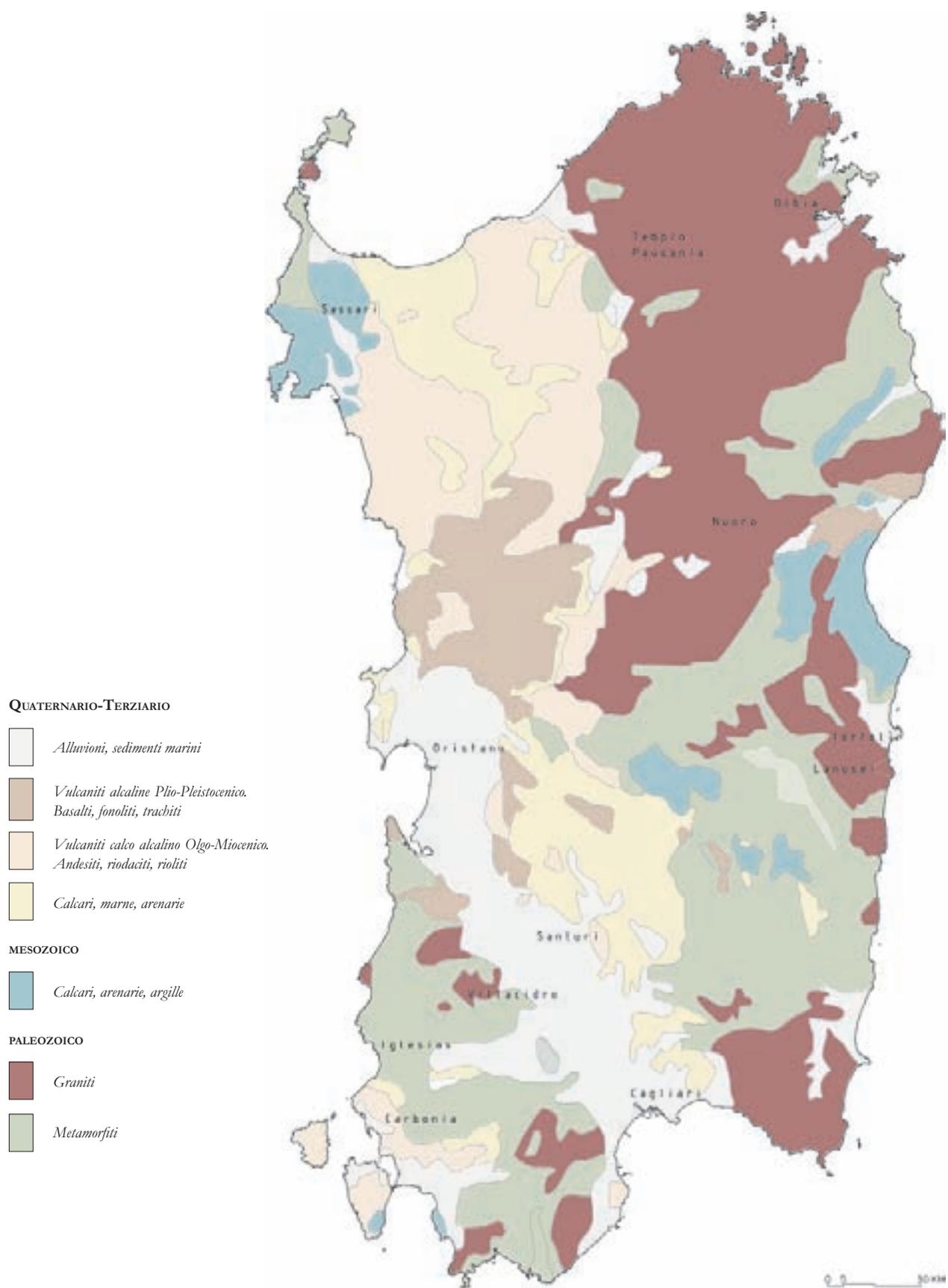



Fig 1.2. Carta geologica schematica della Sardegna.

tazione marina, mostra affioramenti importanti solo nella Nurra con una successione da carbonatica a argillosa. Limitati affioramenti sono presenti anche nell'Arburese e nell'Iglesiente.

Nel Giurassico si possono identificare tre distinte zone di sedimentazione con deposizione di estese formazioni di natura carbonatica.

Nella zona occidentale, principalmente in corrispondenza della Nurra e subordinatamente nell'area del Sulcis meridionale, si osserva una serie costituita da calcari selciferi, dolomie, calcari, calcari marnosi; la zona centrale, in corrispondenza del Sarcidano, mostra una formazione arenaceo-conglomeratica di base associata a lenti di argille di facies lacustre, sovrastata da orizzonti calcareo-dolomitici noti come "Tacchi"; infine nella zona orientale, Baronie di Dorgali, Siniscola, Posada, Isola di Tavolara, affiorano formazioni costituite da orizzonti clastici di base in facies fluvio-palustre, sovrastati da dolomie, calcari dolomitici e calcari marini molto fossiliferi.

Il Cretaceo mostra piccoli e frammentari affioramenti di natura carbonatica in corrispondenza della Nurra, dell'Isola Sant'Antioco e a oriente dell'area del golfo di Orosei. Nel Cretaceo superiore una nuova fase tettonica determina il parziale distacco della Sardegna dall'Europa, la sua emersione pressoché totale e una fase continentale di intensa erosione.

Durante il Cenozoico si verificano, in tutta l'area mediterranea, importanti movimenti geodinamici che hanno interessato anche il blocco sardo-corso comportandone il completo distacco dal continente europeo con deriva, verso il centro del Mediterraneo, in senso antiorario di 30-35° in un lasso di tempo compreso tra i 21 e i 17,5 Ma. A causa di tali movimenti geodinamici si instaura nella parte occidentale della Sardegna, tra il golfo di Cagliari e quello dell'Asinara per una lunghezza di oltre 200 km e una larghezza di oltre 50 km, un sistema di fosse (rift) a conformazione di graben. A partire dall' Oligococene superiore fino al Miocene inferiore si sviluppa nella fossa un intenso vulcanesimo calco-alcalino che porta alla messa in posto di una successione di grande potenza costituita da andesiti, riodaciti e rioliti unitamente ai sedimenti marini che contribuiscono a colmare la fossa stessa. Durante il Pliocene-Pleistocene si ha uno smembramento di queste ultime strutture a causa di una tettonica distensiva con faglie in direzione NW - SE che porta alla formazione del graben del Campidano. A questa fossa sono associate deposizioni sabbiose, argillose e un vulcanismo alcalino che si sviluppa prevalentemente lungo i bordi più settentrionali con prodotti prima acidi (rioliti) e poi basici (basalti) e che si protrae fino alla fine del Quaternario. La gran parte degli affioramenti sedimentari Quaternari è costituita da sedimenti di ambiente continentale, rappresentati prevalentemente da alluvioni ciottolose, localizzati nelle più importanti pianure dell'isola e subordinatamente di ambiente marino litorale (panchina tirreniana)[14]. Questi sedimenti variano notevolmente nella natura litologica, nella forma e dimensione dei ciottoli, nella natura della frazione fine dei cementi e delle matrici, nel grado di cementazione e di costipamento. Nelle aree costiere sono presenti, in modo discontinuo, depositi marini (conglomerati, arenarie, calcari organogeni), dune fossili ed attuali, e depositi di stagno[4, 6].

1.2. LINEAMENTI PETROGRAFICI

La lunga e complessa storia geologica che ha interessato la Sardegna ha prodotto come risultato un'ampia varietà di rocce che, fin dai tempi più remoti, hanno costituito una componente importante per lo sviluppo e l'evoluzione delle popolazioni con tracce che possono essere ammirate anche oggi, dai basalti dell'epoca nuragica ai graniti e calcari dei giorni nostri, dalle domus de Janas, alla casa moderna.

I principali litotipi presenti nell'Isola e più ampiamente utilizzati per la realizzazione di una grande varietà di manufatti sono rocce granitoidi, vulcaniche e carbonatiche.

Per quanto riguarda l'utilizzo delle metamorfiti connesse all'orogenesi ercinica e ad altre litologie più recenti, quali per esempio le formazioni marnose e arenacee della Marmilla-Trexenta, non si ha notizia di un utilizzo, né passato né presente, economicamente importante come per i litotipi precedenti; ma si può pensare che costituiscano piuttosto delle nicchie di interesse circoscritto esclusivamente locale, ragionevolmente solo laddove esistono gli affioramenti.

1.2.1. Graniti

Dal punto di vista commerciale con il termine "granito" viene indicata un'ampia classe di rocce anche molto differenti dal punto di vista petrografico-classificativo comprendendo rocce ignee intrusive ed effusive, rocce sedimentarie ed anche metamorfiche. In questa classe rientrano rocce ampiamente utilizzate nell'edilizia comune così come nella grande architettura; sono rocce compatte, abbastanza dure (6-7 scala di Mohs), lucidabili, più difficilmente lavorabili dei marmi, e hanno buone proprietà meccaniche che conferiscono ottime caratteristiche di resistenza all'usura e all'esposizione esterna. Dal punto di vista strettamente petrografico il granito è una roccia intrusiva acida a struttura granulare composta principalmente da feldspato potassico, plagioclasi e quarzo in proporzioni variabili, biotite e/o muscovite subordinate. In questa definizione rientrano i graniti della Sardegna compresi nell'accezione più ampia di "rocce granitoidi" impiegata dagli addetti ai lavori per indicare l'insieme delle rocce ignee intrusive a struttura granulare da acida a neutra. I graniti costituiscono il batolite ercinico sardo che affiora da Nord a Sud principalmente nella parte orientale e subordinatamente nel settore sud-occidentale dell'Isola occupando una superficie di circa 6000 km^2. Nel batolite si identificano numerosi corpi intrusivi di dimensione variabile e di composizione da francamente granitica fino a gabbrica.

Nella cartina geologica (Figura 1.2) è riportata una rappresentazione semplificata del batolite sardo con l'indicazione delle suddivisioni nei differenti litotipi petrografici componenti più diffusi introdotti di recente da diversi Autori[3].

In ordine di età media di messa in posto decrescente vengono distinti due cicli intrusivi:

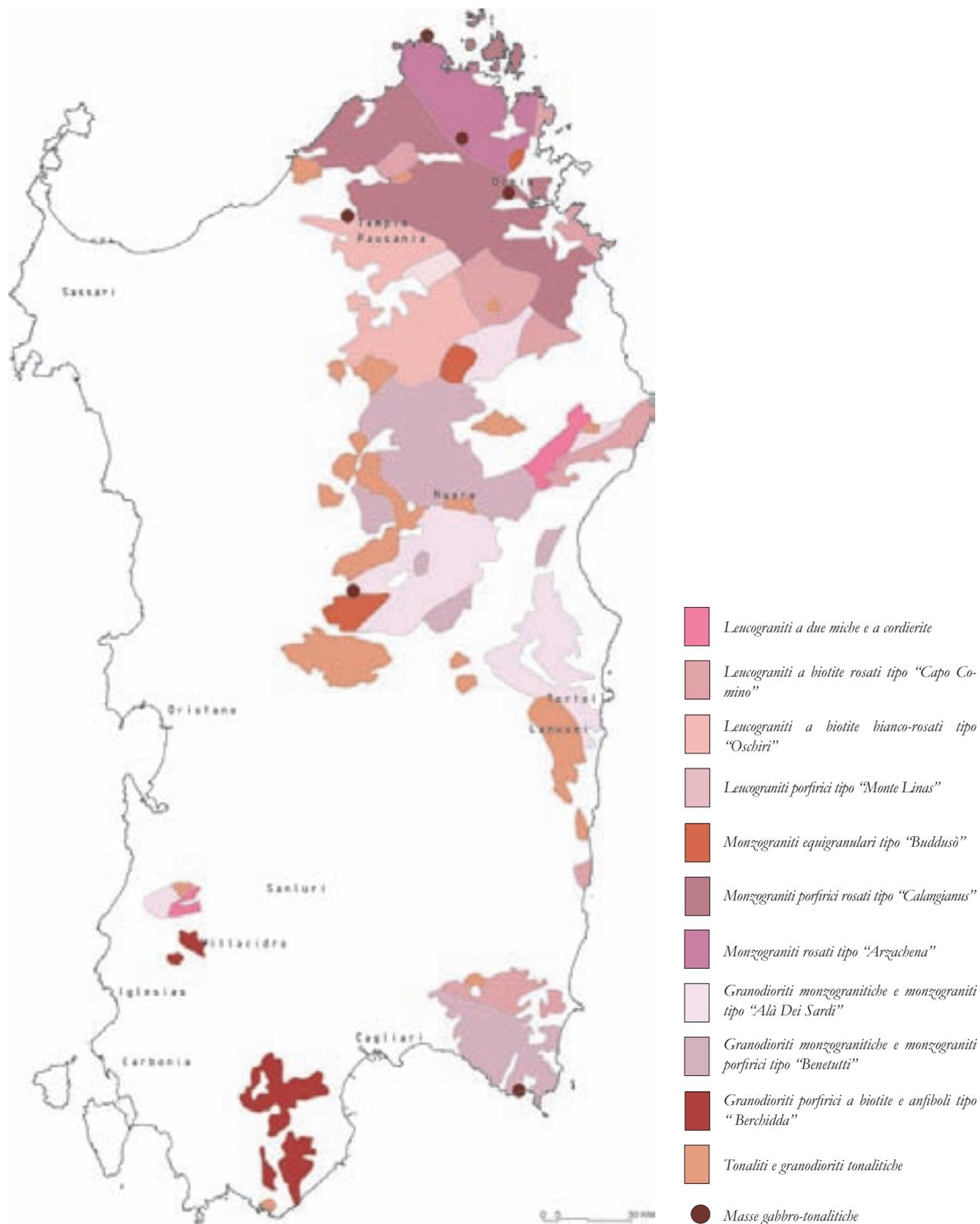



Fig 1.3. Carta geologica degli affioramenti dei graniti.

1. I ciclo intrusivo
Plutoniti tonalitico monzogranitico

a. tonaliti e granodioriti con ricristallizzazione metamorfica pervasiva

b. tonaliti e granodiriti tonalitiche

c. granodioriti monzogranitiche e monzograniti

2. II ciclo intrusivo
Leucograniti biotitici

3. Plutoniti di incerta collocazione nella sequenza degli eventi intrusivi.

Al primo ciclo intrusivo appartengono:

a. Le tonaliti e le granodioriti con ricristallizzazione metamorfica pervasiva che sono rocce a grana media con tessitura gneissica costituite da quarzo, plagioclasi oligoclasico-andesinici, K-feldspato, biotite, talora muscovite, e orneblenda; costituiscono meno dello 1% del batolite e affiorano in modo discontinuo nella Sardegna Nord orientale (Barrabisa, zone a Est di Pattada e a Ovest di Bortigiadas ecc.);

b. Le tonaliti e le granodioriti tonalitiche che, con masse discontinue di dimensioni e forma assai variabili, sono distribuite in una fascia che si estende dalla Gallura occidentale al Sarcidano e Ogliastra, e costituiscono circa il 10% del batolite. Affioramenti di minori dimensioni si rinvengono anche nel sud dell'Isola, nel Sarrabus, nell'Arburese e a Capo Spartivento. La composizione mineralogica è data da plagioclasio (40-55%) a composizione da labradoritica fino ad andesinica, quarzo (12-33%), K-feldspato (fino a un 15%), biotite e subordinata orneblenda; la grana è media, equigranulare, e la tessitura è spesso orientata per la presenza di numerosi inclusi femici microgranulari;

c. Termini a composizione granodioritico - monzogranitica che costituiscono la parte più importante (65% circa) del batolite granitoide sardo e vengono distinti in: granodioriti monzogranitiche tipo Alà dei Sardi e tipo Benetutti, granodioriti monzogranitiche tipo Berchidda, monzograniti tipo Calangianus e tipo Arzachena e monzograniti tipo Buddusò.

Le granodioriti monzogranitiche tipo Alà dei Sardi sono rocce di colore generalmente grigio, a grana media e spesso a tessitura orientata, con frequenti inclusi femici microgranulari. La loro composizione mineralogica è data da plagioclasi (40-50%), K-feldspato (10-20%), quarzo (20-30%), biotite (10-15%) cui si associa talora muscovite in piccole quantità e anfibolo; tra gli accessori si riconosce apatite, allanite, zircone, magnetite e titanite

Dal punto di vista macroscopico mostrano ampia variabilità legata soprattutto alla quantità e dimensione del K- feldspato (anche 2-10cm, Benetutti, Orune, Fonni, Ogliastra e Sarrabus).

Le granodioriti monzogranitiche tipo Berchidda sono rocce a grana medio-grossa, spesso eterogranulari per la presenza di megacristalli di K-feldspato (1-3 cm); sono costituite da plagioclasio dominante (40-50 %) seguito da quarzo (20-25%) K-feldspato (15%) e biotite (10%), accom-

pagnata da piccole quantità di orneblenda verde, con accessori apatite, allanite, zircone, magnetite e titanite.

I monzograniti tipo Calangianus e tipo Arzachena, rosati e a grana medio-grossa, costituiscono gran parte della Gallura. I primi, più acidi, sono diffusi in una zona compresa tra Aggius, Olbia e l'Arcipelago della Maddalena mentre i secondi si riscontrano nell'area di Bassacutena e Arzachena. La composizione mineralogica è caratterizzata da un rapporto medio plagioclasio/K-feldspato di tipo monzogranitico (in quantità pressoché equivalente) con modesti contenuti in biotite e rara orneblenda verde del tutto subordinata. I plagioclasi hanno composizione oligoclasica-andesinica e il K-feldspato risalta per il colore rosato di megacristalli spesso isorientati che, nel tipo Arzachena, hanno dimensioni più ridotte (1-2 cm). Gli accessori sono ancora apatite, allanite, zircone, magnetite e titanite.

I monzograniti tipo Buddusò, biancastri e a grana grossa con composizione mineralogica data da quarzo, plagioclasi a composizione oligoclasica, feldspato potassico e subordinata biotite, sono presenti nella area di Buddusò, nella zona di San Pantaleo (Gallura) e nel massiccio di Borta Melone (Barbagia). Al secondo ciclo appartengono i leucograniti biotitici che fanno parte della fase finale del ciclo magmatico ercinico; occupano il 25% dell'intero batolite e sono distribuiti in tutto il basamento. Hanno colore rosa biancastro e la compagine mineralogica, omogenea, è data da quarzo abbondante, feldspato potassico (in prevalenza ortoclasio pertitico e in subordine microclino), plagioclasio di composizione oligoclasica e più raramente albitica, poca biotite e talora muscovite; tra gli accessorie figurano apatite, allanite, zircone e più raramente magnetite e titanite. Le facies granitiche appartenenti a questo ciclo sono generalmente molto fratturate e interessate da intensi fenomeni di trasformazione idrotermale che si manifestano con albitizzazioni, sericitizzazioni e cloritizzazioni, e, in base ai caratteri tessiturali, vengono distinte in:

a. leucograniti a biotite tipo Capo Comino, di colore rosa, a grana medio -grossa, equigranulari, con abbondante presenza di K-feldspato, affioranti in modo discontinuo in Gallura, Barbagia e Sarrabus. Le rocce appartenenti a queste complesso sono le più comunemente usate a scopo decorativo;

b. leucograniti a biotite tipo Oschiri, molto simili al tipo Capo Comino, affioranti nell'area compresa tra Monte Limbara e Monte Lerno; sono di colore bianco rosato, a grana grossa inequigranulari per la presenza di fenocristalli di K-feldspato rosato di dimensione centimetrica;

c. leucograniti tipo Monte Linas, tipici dell'Iglesiente, di colore generalmente rosato, struttura porfirica per la presenza di K-feldspato di dimensione centimetrica (2-3 cm).

Nel batolite sardo le plutoniti di incerta collocazione nella sequenza degli eventi intrusivi sono piuttosto subordinate e sono costituite in prevalenza da leucograniti a due miche affioranti nel massiccio di Monte Senes, nelle Baronie e in altre aree della Sardegna meridionale, soprattutto nell'Arburese; hanno struttura porfirica, grana medio-fine, con composizione mineralogica data da K-feldspato, microclino, plagioclasio albitico- oligoclasico, quarzo, muscovite e biotite.

Vulcaniti Plio-Quaternarie

Vulcaniti Oligo-Mioceniche

Fig 1.4. Carta schematica degli affioramenti delle vulcaniti.

1.2.2. Vulcaniti

Nella Figura 1.4 è riportata la distribuzione areale delle vulcaniti in Sardegna riferibili a due cicli vulcanici distinti uno Oligo-Miocenico e l'altro Plio-Pleistocenico[12,13].

Il primo ciclo, a carattere calcoalcalino, è costituito da prodotti con chimismo da andesitico a riolitico sia in forma lavica (duomi e colate) che piroclastica (tufi e ignimbriti); al secondo ciclo, a carattere alcalino, appartengono prodotti da basici a intermedi: basalti, fonoliti e trachiti.

Al primo ciclo appartengono successioni vulcaniche più complete che affiorano nell'aree del Logudoro, Bosano e Marghine, mentre nella Sardegna sud occidentale gli affioramenti sono più discontinui e limitati. Cronologicamente si possono distinuguere:

- 29 e 24 Ma: vulcaniti costituite da prodotti lavici a prevalente chimismo andesitico e subordinamente basaltico messe in posto nel Bosano, Arcuentu, Alghero, Valle del Cixerri, Sarroch-Pula e Serrenti-Furtei;

- 24 e 18 Ma: vulcaniti costituite da prodotti prevalentemente ignimbritici a chimismo dacitico-riodacitico, variamente saldati e alternati a prodotti andesitici messe in posto nell'area dell'Arcuentu, Anglona, Bosa-Alghero, lago Omodeo, Ottana, Giba- Narcao e Sant'Antioco;

- 18 e 14 Ma: vulcaniti a chimismo variabile rappresentate dai dicchi e filoni andesitici dell'Arcuentu, dalle cupole dacitico riolitiche di Romana, dai depositi subaerei e subacquei della Marmilla, dai depositi ignimbritici riodacitici- riolitici del Logudoro e del Bosano e dai depositi ignimbritici prevalenetemente saldati del Sulcis sud occidentale.

Le vulcaniti appartenenti al ciclo vulcanico Plio-Pleistocenico sono presenti soprattutto nel Campidano (Monte Arci), nella catena del Marghine (plateaux di Ottana e Campeda) e nell'arco costiero del golfo di Orosei.

1.2.3. Carbonati

Nella carta di Figura 1.5 sono riportati i principali affioramenti delle rocce carbonatiche attribuibili, in ordine di età decrescente, al Paleozoico, Mesozoico e Terziario[2, 6]. Mentre le formazioni Paleozoiche sono riferibili al solo Cambrico e affiorano esclusivamente nel Sulcis-Iglesiente, quelle Mesozoiche interessano tutti i periodi (Trias , Giura e Creta) e sono ampiamente distribuite nell'Isola, a Nord- Ovest, a Sud- Ovest, al centro e al centro-Est. Le formazioni carbonatiche riferibili all'era Terziaria si mostrano in affioramenti più frammentari e affiorano nella Sardegna centro occidentale da Nord a Sud (sassarese, oristanese e cagliaritano).

Le rocce carbonatiche del Sulcis - Iglesiente, collocate nel Cambrico inferiore medio, cosituiscono la cosidetta Formazione di Gonnesa, di composizione calcarea e dolomitica, nella quale sono ospitate importanti

mineralizzazioni a solfuri e ossidati di metalli di base. Le facies dolomitiche sono distinte in dolomia rigata, finemente stratificata, e dolomia grigia che mostra ricristallizzazione diffusa e tardiva ed è priva di stratificazione. La facies calcarea è data da un calcare puro di colore grigio chiaro, translucido e a grana finissima noto come "calcare ceroide".

Non si ha notizia che queste rocce carbonatiche abbiano avuto un uso in campo edilizio architettonico se non quello che soddisfa le circoscritte e occasionali necessità locali. I calcari mesozoici depositati durante il Trias sono presenti quasi esclusivamente nella Nurra.

La successione litologica è costituita in prevalenza da dolomie, calcari dolomitici, calcari compatti poco fossiliferi e calcari marnosi. Altri affioramenti, sporadici e limitati con le stesse caratteristiche petrografiche, sono presenti anche nella Sardegna centrale, nel Sulcis-Iglesiente.

Ben più importanti sono gli affioramenti del Giura. I sedimenti di questo periodo sono ben rappresentati nella Nurra (bacino occidentale) da calcari, calcari oolitici, calari selciferi, calcari dolomitici, dolomie e marne più o meno fossiliferi (ammoniti, lamellibranchi ed echinodermi, foraminiferi e alghe). Nella zona della Barbagia di Seui e di Belvì e nel Sarcidano (bacino centrale), detta regione dei tacchi per la tipica morfologia tabulare, sono presenti piccoli altopiani, spesso smembrati e ridotti a formare torrioni naturali poggianti sulle rocce del basamento scistoso paleozoico, costituiti da dolomie, dolomie arenacee e calcari dolomitici formatisi in ambienti litorali.

Nel Sarcidano è presente la più estesa ed omogenea di queste formazioni carbonatiche, denominata anche "Tacco di Laconi, morfologicamente diversa dalle altre, perché si presenta come un altipiano dalla superficie regolare, delimitato da altissime pareti verticali, soprattutto sul versante orientale che si affaccia sulla valle del Flumendosa.

Sempre di natura carbonatica è l'area centro orientale dell'Isola, il Supramonte e il golfo di Orosei. Si tratta di ampi massicci calcarei che raggiungono quote piuttosto elevate (P.ta Corrasi 1463 m, Monte Albo 1000m , Punta Cusidore 500m, Monte Tuttavista 806 m). In quest'ultima zona sono presenti anche oggi insediamenti industriali che coltivano il cosiddetto "marmo di Orosei".[9]

Durante il Cretaceo prosegue la deposizione carbonatica nei bacini giuresi, sebbene gli assetti geografici dell'Isola siano mutati. Gli affioramenti sono limitati e presenti nella Nurra, nell'Isola di Sant'Antioco (Maladroxia) e nei dintorni del golfo di Orosei. Si tratta sempre di una successione carbonatica di calcari, calcari marnosi e marne.

Le rocce sedimentarie del Cenozoico mostrano variazioni che vanno da calcari marnosi fino a marne e sono distribuiti nella parte occidentale dell'Isola. Gli affioramenti dei litotipi più compatti interessanti dal punto di vista edile-architettonico sono ampiamente rappresentati nell'area del Sassarese e del Cagliaritano e più limitatamente nell'Oristanese.

Arenarie marnose sono presenti nella Trexenta e Marmilla; sono note come "giallo campidano", si trovano in blocchi di grandi dimensioni di forma irregolare che sono state in passato e fino a tutt'oggi impiegate in ambito in edilizio sotto forma di cubetti e lastre per la realizzazione di pavimentazioni pedonali e per il traffico veicolare leggero.

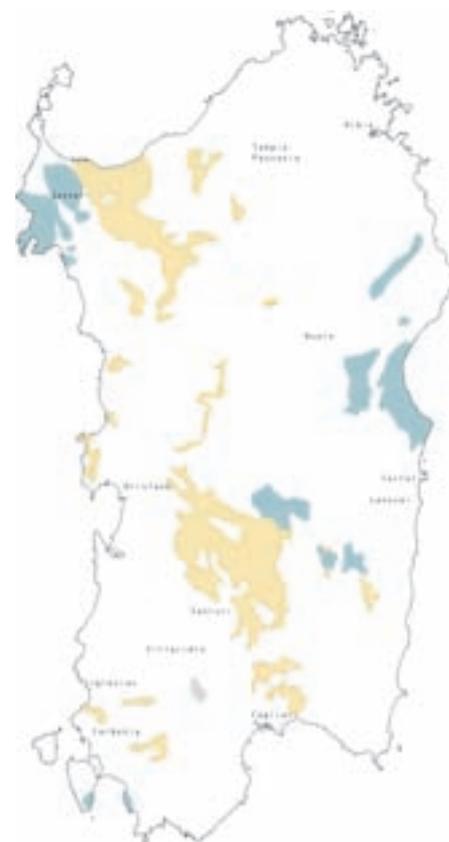



Fig 1.5. Carta schematica degli affioramenti delle rocce carbonatiche

Fig 1.6. Carta schematica degli affioramenti delle metamorfiti.

1.2.4. Metamorfiti

Il complesso metamorfico, oltre alla serie carbonatica Cambrica già descritta nel Sulcis Iglesiente, è collegato all'orogenesi ercinica e affiora nella Sardegna centrale e in quella settentrionale[6]. Il grado metamorfico è variabile e va aumentando da SW a NE. Secondo la letteratura moderna si distingue una zona esterna di basso grado, una zona a falde, di basso grado detta esterna e di medio grado detta interna, e un complesso ad alto grado metamorfico. (Figura 1.6)

Il complesso metamorfico di alto grado è presente con limitati affioramenti all'interno delle rocce granitoidi nella Sardegna settentrionale (Gallura e Isola Asinara), è costituito da migmatiti e gneiss in facies anfibolitica ed è separato dal complesso metamorfico di medio e basso grado delle zone a falde da un contatto tettonico detto linea Posada -Asinara.

Nel Complesso di medio e basso grado della zona a falde le metamorfiti delle "falde interne" affiorano tra la linea Posada - Asinara e la Barbagia e mostrano un grado metamorfico più alto di quelle delle "falde esterne" affioranti tra la Barbagia e l'Iglesiente.

Nelle falde interne affioranti nell'alto Sarcidano e nella Barbagia (massiccio del Gennargentu) si riconosce il più vasto affioramento di metamorfiti in Sardegna, noto in letteratura come "Postgotlandiano". Sono rocce costituite, dal basso verso l'alto, da: metarenarie quarzoso- micacee, filladi quarzifere, metavulcaniti acide, filladi nere e marmi.

Le metamorfiti della falda esterna, metasedimenti e metavulcaniti, affiorano tra le regioni dell'Iglesiente e della Barbagia e vengono suddivise in diverse unità tettoniche che rappresentano distinti bacini paleogeografici. Si ricordano le Unità del Monte Grighine, di Castello di Medusa, del Gerrei, di Genn'Argiolas e di Meana Sardo.

La zona esterna si identifica con la già descritta successione metamorfica di basso-molto basso grado affiorante nel Sulcis-Iglesiente.

Nel Sulcis meridionale sono presenti gli ortogneiss di monte Settiballas, i micascisti di Monte Filau e la Formazione di Bithia (filladi, meta basiti e metagrovacche).

1.3. NOTIZIE STORICHE

I materiali lapidei sono stati da sempre utilizzati in campo edilizio ed architettonico. Nell'edilizia pre-moderna sono stati utilizzati soprattutto per costruire conci lavorati, come pietra ornamentale e per la formazione di leganti ed inerti[9, 10].

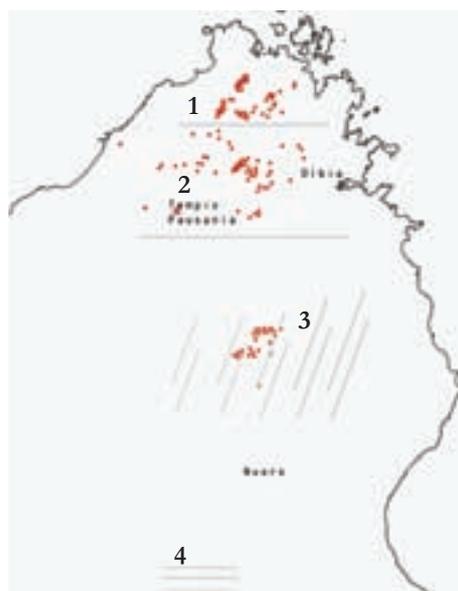
Il principale utilizzo moderno del materiale lapideo è piuttosto indirizzato al campo ornamentale per la realizzazione di rivestimenti e di pavimentazioni esterne e interne.

La conoscenza approfondita che oggi si ha delle caratteristiche mineralogico- petrografiche e tecniche dei materiali lapidei deve essere naturalmente asservita agli interventi di recupero allo scopo di raggiungere il miglior risultato finale.

1.3.1. Graniti

Numerosi resti di manufatti, trovati soprattutto nell'isola di Santo Stefano, Sardegna settentrionale, dimostrano come nel Neolitico Medio, IV millennio a.C., venisse già utilizzato il granito sardo. I Romani ne fecero grande uso; lo sostituirono a quello egiziano, sia per motivi economici che estetici, e crearono una importante rete di trasporto dalle cave della Gallura verso i porti laziali. Dal Medioevo fino all'Età moderna il granito, lavorato in conci dai maestri scalpellini, fu utilizzato soprattutto nella Gallura, così come è testimoniato dai cosiddetti "paesi del granito". Numerose sono le testimonianze, in questa regione, di piccoli scavi sebbene fosse consuetudine lavorare i trovanti sparsi nel territorio come è testimoniato dalla presenza di monoliti parzialmente lavorati e di blocchi più o meno squadrati. Nel trattato "Cenni sulla Costituzione Metallifera della Sardegna", stampato a Torino nel 1854, l'ingegner Baldracco riferisce e descrive i numerosi siti esistenti tra Palau e Santa Teresa di Gallura[1].

Il commercio organizzato del granito inizia solo nella seconda metà dell'ottocento con la Società "Esportazione Graniti Sardi" con sede a Genova, che promuove coltivazioni nella zona di Cala Francese (isola de la Maddalena). La Società inizia con una piccola attività di scavo e lavorazio-

Fig 1.7. Cala Francese: alloggi per operai, direzione, piazzali lavorazione e depositi. (da Breve Storia del Granito Sardo, Salvatore Fiore)

Bacini

1 Arzachena – Luogo Santo
Poli estrattivi: Bassacutena, Luogosanto;

litotipo: monzogranito porfirico
identificazione commerciale: granito rosa

2 Tempio Pausania – Calangianus
Poli estrattivi: Monte Nuragone,Luras,Calangianus,Muddizza Piana, Aggius, Tempio Pausania
litotipo: monzogranito porfirico
identificazione commerciale: granito ghiandone

3 Buddusò – Alà Dei sardi
Poli estrattivi: Alà Dei Sardi, Buddusò
litotipo: leucogranito equigranulare
identificazione commerciale: graniti grigi di Buddusò e Alà dei Sardi, granito bianco sardo

4 Ovodda
Poli estrattivi: coltivato solo in due cave
litotipo: monzogranito porfirico
identificazione commerciale: graniti grigi di Ovodda

ne, dapprima per uso locale, e sviluppa la propria attività per circa 50 anni con cavatori e scalpellini sardi (soprattutto di Aggius, Luras e Tempio), toscani, lombardi e emiliani imponendo il prodotto sul mercato nazionale ed estero. Alla fine degli anni '30, in concomitanza con la grande recessione americana, questa Società ridusse l'attività e per molti anni la produzione fu limitata per il solo mercato locale[7, 8].

Solo nel 1960 l'attività estrattiva del granito viene ripresa con l'apertura di nuove cave e in pochi anni diviene una realtà economica importante per l'Isola tanto che per la prima volta la Regione Sardegna elabora un regolamento per la coltivazione dei materiali lapidei.

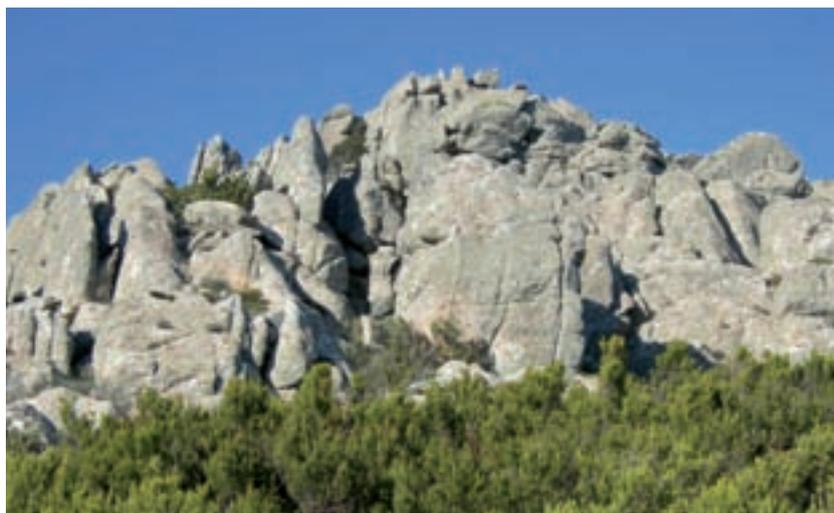
In ambito regionale si riconoscono cinque bacini minerari intesi come aree nelle quali sono presenti litotipi omogenei dal punto di vista petrografico; quattro si riferiscono al granito e una al marmo di Orosei. In ciascun bacino vengono individuati i poli estrattivi che sono le aree in cui si concentra l'attività estrattiva e spesso anche la lavorazione del prodotto estratto. È ragionevole ipotizzare che questa situazione sia da mettere in relazione allo sviluppo di attività già presenti nelle varie località e finalizzate al soddisfacimento dei bisogni locali.

Dall'alto verso il basso:

Fig 1.8. Carta dei bacini minerari del granito.

Fig 1.9. Affioramenti di granodioriti monzogranitiche di colore grigio. Alà Dei Sardi. (Fonte: Google Earth)

Fig 1.10. Affioramenti di leucograniti a biotite tipo Oschiri. Monte Limbara. (Fonte: Google Earth)

Nella cartina di figura 1.9[8] sono riportati i principali bacini e i relativi poli estrattivi del granito sardo. Considerato il basso valore economico del materiale, è verosimile che su siti storici di estrazione si sia consolidata la distribuzione attuale degli impianti di sfruttamento e che questi stessi si siano gradatamente sviluppati in relazione alle crescenti richieste del mercato sia interno che estero. Rocce granitoidi che non provengono da questi bacini sono: il rosa beta, il giallo sardo e il leucogranito di Olbia noto come Giallo San Giacomo; il granito di Orosei noto come rosa ferula; il granito di Villasimius (estratto nella cava Usai dalla seconda metà dell'Ottocento fino agli anni cinquanta e usato in molte opere pubbliche, tra cui la pavimentazione della via Roma a Cagliari)[10].

Con il granito estratto dalle cave storiche venivano realizzati prevalentemente prodotti quali cantonetti, cubetti, lastrine. Il cantonetto ha forma parallelepipeda ed è il manufatto a spacco storicamente più noto perché da sempre in Sardegna utilizzato per la costruzione di edifici, di Chiese, di muri di recinzione e di contenimento.

Vengono ancora oggi realizzati, per ricordare l'antica fattura, prodotti a spacco da impiegare nella la costruzione di pavimentazioni stradali e di

Fig 1.11. Vecchia abitazione realizzata con conci regolari di granito poggianti direttamente su affioramento della stessa natura. Calangianus.

lastrame regolare di varia pezzatura per la realizzazione di pavimentazioni e rivestimenti in lavorazioni lisce, bocciardate, fiammate e sabbiate.

1.3.2. Marmo

Commercialmente si definiscono marmi non solo i marmi veri e propri, rocce metamorfiche di natura carbonatica pure e impure, ma anche tutte le rocce, di genesi anche molto diversa, suscettibili di lucidatura: calcari, travertini, dolomie, serpentine, oficalci etc.

Molte rocce carbonatiche hanno avuto da sempre largo impiego in ambito edile - architettonico sia come elementi costruttivi e pietre ornamentali, sia come materia prima per la realizzazione di inerti e leganti. Il loro uso risale a tempi remoti ed è documentato dalla presenza di nuraghi, quali ad esempio quelli di Siniscola e di Isili, del villaggio nuragico realizzato all'interno della dolina di Tiscali, così come dall'impiego di conci squadrati utilizzati insieme ad altri litotipi.

In Sardegna i marmi veri e propri sono geologicamente poco rappresentati. Nel passato non sono stati molto sfruttati e anche oggi sono di scarso interesse industriale. Si possono ricordare: i marmi di Asuni, il Verde Tirreno di Sarule e il Rosso Sant'Angelo di Fluminimaggiore.

Il marmo di Asuni, rosa cipollino, veniva coltivato nella cava di Ualla ormai abbandonata da oltre 40 anni; il Verde Tirreno di Sarule, marmo grigio con venature grigio scuro, veniva estratto dal Monte Gonare nelle cave di Sa Nughe e di Punta Lotzori. (Figura 1.12)

Il Rosso Sant'Angelo, breccia milonitica di colore variabile dal rosso mattone al rosa con numerose vene e chiazze di calcite, veniva estratto in località Sant'Angelo presso Fluminimaggiore.

In passato, fin dal tempo dei romani, sono state fiorenti le attività di estrazione di rocce della serie carbonatiche miocenica. Due esempi: le

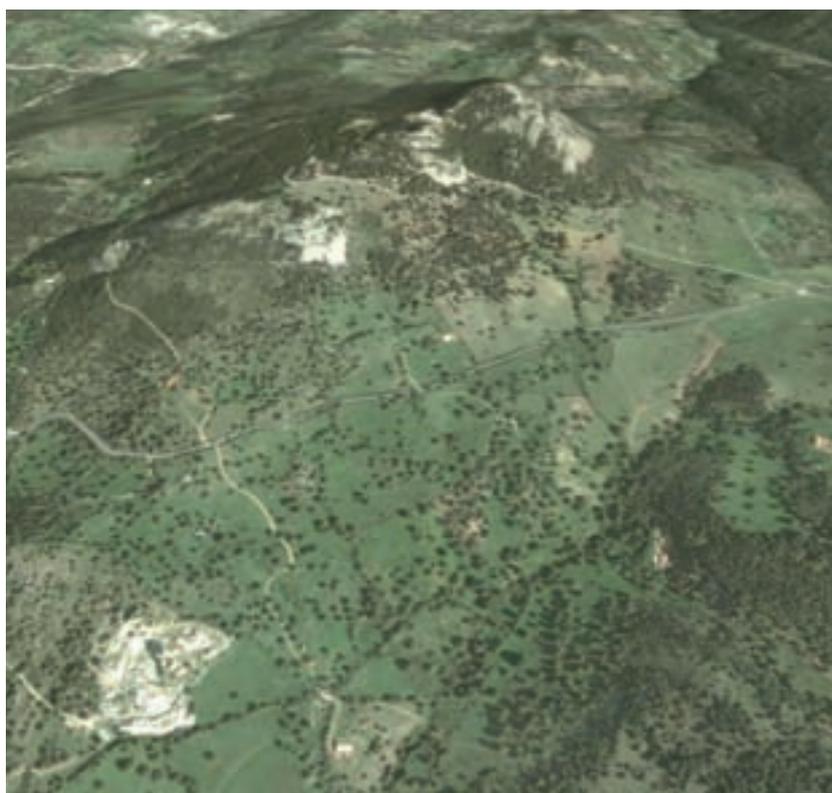



Fig 1.12. Cave dismesse di Monte Gonare. (Fonte: Google Earth)

città di Cagliari e Sassari che hanno in passato fatto largo uso, in campo edile-architettonico, sia come pietra da costruzione e ornamentale sia per la confezione di malte, di questi lapidei noti come Pietra Forte, Pietra Cantone, Tramezzario, Pietra Columbrina. A Cagliari sono numerosi gli esiti delle lavorazioni di estrazione già iniziati fin dai tempi dei romani e conclusi solo nell'immediato dopoguerra e i cui prodotti sono stati ampiamente utilizzati per costruire il centro storico della città. Si ricordano i principali siti di estrazione quali l'Anfiteatro romano, Tuvixeddu e Tuvumannu, la fossa di San Guglielmo (cava medievale da dove furono estratti gran parte dei materiali usati per la costruzione della cinta muraria della città di Cagliari), e i numerosi piccoli scavi presenti in diverse parti della città. A Cagliari la Pietra Forte, la pietra

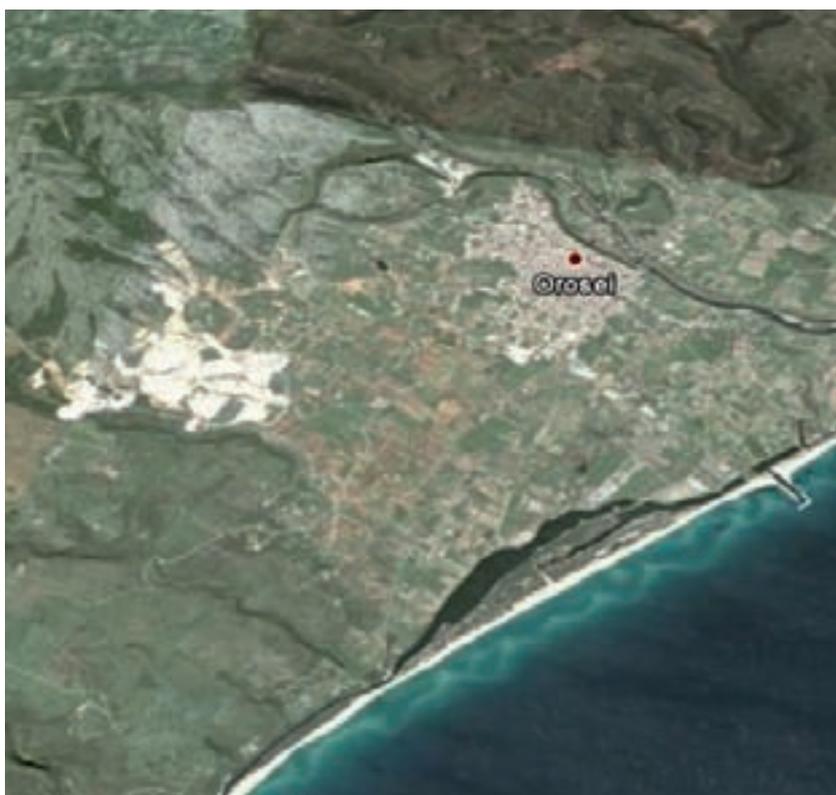



Fig 1.13. Vista del Monte Tuttavista. Orosei.

Fig 1.14. Cave del Monte Tuttavista. Orosei. (Fonte: Google Earth)

più pregiata, è stata utilizzata per le opere faccia vista, portali etc. mentre la pietra cantone, conosciuta anche come "tuvu", tradotto come tufo ma che deriva da "tuvuru" che significa cavernoso, è stata prevalentemente destinata all'uso edilizio.

Anche l'architettura del centro storico di Sassari[5] è stata realizzata prevalentemente con rocce carbonatiche mioceniche: la Pietra Cantone, nota localmente come pietra columbrina, il calcare marnoso, noto come tufo giallo e subordinatamente la "pedraforte", roccia carbonatica conglomeratica. La pietra cantone e il calcare marnoso sono stati utilizzati per la realizzazione di facciate a vista o intonacate e per decoro. L'abbondante utilizzo della pietra cantone e del calcare marnoso anche nel Sassarese è dovuto alla loro grande disponibilità in tutto il territorio e alla facilità di lavorazione. In particolare la pietra cantone è stata estratta ininterrottamente dal XIV secolo fino agli anni 60 del XIX secolo in numerose cave esistenti nell'area limitrofa della città di Sassari alla città come quella di Badde Manna (il materiale della frumentaria proviene da questa vecchia cava). Al contrario gli affioramenti di Pietra Forte utilizzata come elemento portante e decorativo, quali portali e colonne, sono scarsi e sono limitati all'area di Sant'Anatolia. Qui esistevano siti di estrazione completamente cancellati dalla recente urbanizzazione della zone[10].

Nel recente passato, a partire dagli anni cinquanta, è cominciata nella Sardegna centro orientale, nel Monte Tuttavista nell'immediato sud del centro abitato di Orosei (Figure 1.6, 1.7), una attività estrattiva di rocce carbonatiche fossilifere giurassiche note col nome commerciale di Marmo Biancone Tirreno di Orosei. Visto l'importante sviluppo dell'attività estrattiva raggiunto negli anni settanta, la Regione Sardegna, con una specifica legislazione, riconosce per queste pietre ornamentali oltre al bacino del granito anche il bacino del Marmo di Orosei. A seconda delle combinazioni di venatura, colore e tipo di lavorazione si origina una vasta gamma di tipologie di prodotti che sono riconducibili a quattro macro gruppi: venato chiaro e scuro, nuvolato chiaro e scuro, chiaro e perlato. Vengono eseguite diverse finiture superficiali: levigatura, lucidatura, bocciardatura, fiammatura, sabbiatura , lavaggio con acido e stuccatura. La lucidatura è applicata agli elementi destinati a pavimentazioni interne, mentre sabbiatura e/o bocciardatura ai rivestimenti esterni.

1.3.3. Vulcaniti

In Sardegna le vulcaniti sono state, e sono ancora, diffusamente coltivate in tutte le tre provincie storiche principalmente nelle località di Fordongianus-Allai, Ottana, Sedilo, Ozieri, Serrenti etc.. I litotipi più comuni sono rappresentati da facies basaltiche e da facies più acide (queste ultime commercialmente note come "Trachite di Sardegna") sia laviche che tufacee, e sono state utilizzate, e lo sono tutt'ora, come pietra ornamentale e da costruzione sia sotto forma di granulati sia di conci[3, 10].

Il loro impiego risale all'età preistorica e giunge sino ai giorni nostri come testimoniato dai numerosi nuraghi, dalle domus de janas, dai pozzi sacri, dalle opere realizzate dai romani (mosaici, pavimentazioni, strade, ponti basti pensare a Nora, Fordongianus), dalle numerose chiese presenti nella Sardegna e da tutti gli usi civili quali opere murarie case, ponti, muri, etc.

Al contrario di quanto accade per le rocce granitoidi il cui aspetto estetico è largamente condizionato dalla composizione mineralogica, nelle vulcaniti la

caratteristica estetica è da mettere piuttosto in relazione alla più ampia gamma del loro cromatismo e all'assetto strutturale e tessiturale, cioè forma, dimensione e distribuzione dei minerali componenti, indice di porfiricità etc.

1.3.4. Basalti

Il basalto, *e subordinatamente fonolite e trachite*, più largamente impiegato in Sardegna fino agli anni 50 in ambito edile-architettonico è quello attribuibile al vulcanismo Plio-Pleistocenico; è localizzato nell'Oristanese, principalmente nell'area del Monte Arci e della giara di Gesturi, e negli altopiani di Abbasanta e Campeda e nei cosidetti "paesi del basalto", che sono i centri di Norbello, Ghilarza, Sedilo, Abbasanta, Santulussurgiu, Cuglieri, Seneghe, Bonarcado, Scano Montiferro[4]. Questo litotipo ha costituito il materiale d'elezione per la realizzazione di pavimentazioni e per l'edilizia abitativa.

È superfluo ricordare l'impiego di questa roccia che si perde nel tempo nella civiltà nuragica.

In seguito alla diffusione sul mercato di nuovi materiali il suo utilizzo si ridusse notevolmente, ma oggi il basalto vive una fase nuova e riscuote un rinnovato interesse per la produzione di elementi di arredo urbano e la realizzazione di ornamenti per costruzioni pubbliche e private specialmente per le operazioni di recupero dei centri storici.

Tutte le rocce di tipo basaltico sono sempre state diffusamente impiegate, e lo sono anche oggi, per la produzione di granulati per la realizzazione di rilevati e di conglomerati cementizi e bituminosi.

Esistono poche cave in grado di fornire un materiale idoneo alla produzione industriale in lastre; la maggior parte del materiale è ottenuto dal reperimento e dalla successiva lavorazione dei cosiddetti "trovanti", massi di una certa dimensione già naturalmente isolati dalle bancate di affioramento[10].

A titolo di esempio, nell'Altopiano di Abbasanta esistono parecchie attività di trasformazione del basalto locale per la produzione di elementi di arredo urbano (lastricati, cordoli, panchine, dissuasori, ecc.) e come roccia ornamentali per edifici pubblici e privati.

Fig 1.15. Casa realizzata con conci regolari di basalto. Ghilarza.

Fig 1.16. Casa realizzata con conci irregolari di basalto. Paulilatino.

1.3.5. Vulcaniti acide (Trachiti auctorum)

"Trachite" è il termine che anticamente veniva usato per indicare delle rocce chiare, ruvide affioranti in Grecia nell'antica Tracia. Altra interpretazione etimologica potrebbe essere la derivazione dalla parola greca τραχυς che significa ruvido.

Dal punto di vista strettamente petrografico la trachite è il corrispondente vulcanico delle sieniti normali, rocce costituite da K-feldspato, subordinato plagioclasio oligo-andesinico e femici quali orneblenda verde e biotite. Il quarzo è generalmente assente.

"Trachite auctorum" è invece il termine che in passato accomunava un'ampia varietà di vulcaniti, da acide a neutre (rioliti, riodaciti, daciti e andesiti), presenti nella Sardegna centrale e centro-settentrionale (Bosa, Fordongianus, Allai, Ottana, Sedilo, Ozieri, Oschiri e Osilo), meridionale (Serrenti) e sud occidentale (Sulcis). Questo termine è oggi ancora in uso in campo commerciale per identificare questa ampia varietà di prodotti litoidi. Sono prodotti di natura vulcanica di consistenza molto diversa (lave, ignimbriti, piroclastiti variamente saldate, cupole di ristagno), facilmente lavorabili, con porosità variabile e caratteristiche cromatiche assai diverse e di intensità molto variabile: rosa, rosso, giallo, grigio, grigio scuro, verde, verde-azzurro.

Già in antichità queste rocce hanno avuto un massiccio impiego come è testimoniato da numerose realizzazioni costruttive presenti in tutto il territorio dell'Isola. Grande impiego ne è stato fatto in periodo romano come confermano per esempio i resti delle antiche Terme di Fordongianus realizzate con grossi massi squadrati di trachite grigia e il ponte a sette arcate sul fiume Tirso realizzato in blocchi di trachite sulle basi di un' antico ponte. Non mancano testimonianze di un suo utilizzo più antico per la realizzazioni di muraglie difensive, di Domus de Janas, di capanne in pietra, di nuraghi (ad esempio Santu Antine rappresenta uno degli insediamenti più grandiosi e meglio conservati dell' Isola), dei raffinati vasi in Trachite, esposti nei Musei sardi, per lo più risalenti alla

cultura di Ozieri (neolitico medio), etc.

Importanti testimonianze dell'utilizzo di queste vulcaniti in campo edile-architettonico si possono ancora osservare nei centri storici di molti paesi della Sardegna per la realizzazione di diverse componenti architettoniche dell'edilizia pubblica e privata quali conci, pilastri, capitelli, architravi, stipiti, statue, fregi etc. Una citazione specifica deve essere fatta anche ricordando le numerose chiese realizzate nel XII e XIII secolo.

Le principali aree dove oggi vengono ancora estratti e lavorati questi materiali litoidi coincidono praticamente con i siti storici anche questi naturalmente localizzati in dipendenza della distribuzione geologica de-

Fig 1.17. Casa realizzata con conci irregolari prevalentemente di pietra di Serrenti. Serrenti.

Fig 1.18. Casa realizzata con conci regolari di riolite rosa (trachite auct.). Fordongianus.

gli affioramenti. Il principale centro produttivo per uso ornamentale e da costruzione è a Fordongianus nell'Oristanese e solo di recente è ripresa anche a Serrenti, nel Campidano, l'attività di estrazione. Da quest'ultimo sito storico, attualmente rivalutato, proviene la cosidetta "Pietra di Serrenti", una andesite dal colore grigio chiaro, scolpibile e facile allo spacco; è stata coltivata e lavorata da abili scalpellini fin dal diciannovesimo secolo nella cava di Monte Atzorcu e utilizzata per realizzare i caratteristici portali delle case di Serrenti e le case stesse, il mercato coperto di Cagliari, il Palazzo di Giustizia, parte dei portici di via Roma, le chiese di S. Francesco e S. Paolo, piazze, monumenti in tutto il Campidano etc.

1.3.6. Metamorfi

In provincia di Nuoro, in vari comuni, esistono siti dismessi in cui venivano coltivate metamorfiti prevalentemente per la preparazione di inerti. Per il comune di Siniscola si ha notizia dell'esistenza di cave storiche dove venivano coltivati materiali metamorfici destinati all'uso edilizio e ornamentale. Ancora oggi in tale comune vengono estratti le "filladi di Siniscola", a grana minuta in colorazione variabile dal rosso al grigio scuro utilizzate e lavorate in lastre di modeste dimensioni per la realizzazione di pavimentazioni e rivestimenti murari.

Questi materiali hanno diffusione commerciale non solo isolana ma anche fuori Sardegna; si cita a esempio la pavimentazione realizzata nella piazza di San Pietro e del Quirinale.

Fig 1.19. Casa realizzata con conci di metamorfite. Seui.

Fig 1.20. Casa realizzata in prevalenza con conci di metamorfite. Villasalto.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] C. Baldracco (1854), *Cenni sulla costituzione metallifera in Sardegna*, Ed. Roux, Torino, pp 530

[2] Barberi & A. Cherchi (1980), *Excursion sur le Mesozoique et le Tertiaire de la Sardaigne occidentale.* CNR – Progetto Finalizzato Geodinamica- 345, pp115

[3] A. Bralia, C. Ghezzo, g. Guasparri, G. Sabatini (1981), *Aspetti Genetici del batolite sardo-corso.* SIMP, 38 (2), pp 701-764

[4] L. Carmignai, G. Oggiano, A. Funedda, P. Conti, S. Pasci, S. Barca, *Carta geologica della Sardegna* 1:250 000 Litografia Artistica cartografica S.r.l. – Firenze 2008

[5] L. Carta., D. Calcaterra., P. Cappelletti., A. Langella., and M. De Gennaro (2005), *The stone materials in the historical architecture of the ancient center of Sassari: distribution and state of conservation*, Journal of Cultural Heritage, Vol. 6 (3), pp 277-286.

[6] *Contribution to the Geology of Italy with special regard to the Paleozoic basement Volume dedicated to Tommaso Cocozza* (1991). IGCP project No 276 newsletter vol. 5, special issue, edit by L. Carmignani and E.P. Sassi, pp 215

[7] S. Fiore (1994), *Breve storia del granito sardo.* Arti Grafiche Chiarella Sassari pp157

[8] *Guida alle pietre ornamentali della Sardegna* (1999). Regione Autonoma Della Sardegna Assessorato dell'Industria Progemisa SpA, pp122

[9] *Lapidei ornamentali della Sardegna.* Manuale tecnico (2002) Progetto pilota lapidei ornamentali della Sardegna lapidei ornamentali della Sardegna La Poligrafica Solinas s.r.l. Nuoro/Bolotona pp227

[10] - *L'Attività estrattiva in Sardegna* (2007). Regione Autonoma Della Sardegna Assessorato dell'Industria

[11] La Marmora De A. (1857), *Voyage en Sardaigne; ou description statistique, physique et politique de cette ile.* Troisième part. Description gèologique. 4 vol. Paris

[12] L.Lecca, R.Lonis, S. Luxoro, E. Melis, F. Secchi& P. Brotzu (1997). *Oligo-Miocene volcanic sequence and rifting stages in Sardinia: a review.* Per. Min., 66,pp 7-61

[13] M. Palomba, G. Padalino and M. Marchi (2006), *Industrial mineral occurrences associated with Cenozoic volcanic rocks of Sardinia (Italy): Geological, mineralogical, geochemical features and genetic implications.* Ore Geology Reviews Vol. 29 (2), pp 118-145

[14] C. Spano, S. Barca, L. Casu, A. Muntoni (2002), *Ridefinizione biostratigrafica e geocronologia delle unità formazionali neogeniche della Sardegna centrale* (Italia) Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Università Cagliari Vol. 72 Fasc. 1 (2002)

capitolo 2 IL MATERIALE LITICO

Fig. 1. Paramento murario in granito.

2.1. I MATERIALI NELLA DOCUMENTAZIONE STORICA E LETTERARIA

Si può dire che Alberto Ferrero La Marmora sia stato il primo moderno geologo e geografo della Sardegna, operando le sue osservazioni in prevalenza nel trentennio 1820-1850, studiando e descrivendo l'Isola in ogni suo aspetto. Da attento osservatore qual'era, non gli sfuggirono neppure le relazioni tra rocce, materiali da costruzione e tecniche edificatorie. È pertanto quasi doveroso che all'inizio di questa trattazione dedicata ai materiali utilizzati nei Centri Storici, che spesso mantengono carattere secolare, si riportino alcune citazioni dalle sue opere che riassumono aspetti ancora oggi significativi.

Osservazioni specifiche per i centri più importanti sono tratteggiate nell'Itinerario dell'Isola di Sardegna[1]:

> *"Essendo la città di Nuoro fabbricata sopra una pianura granitica…Il granito del luogo si fende facilmente in cantoni allungati per mezzo di zeppe di ferro, coi quali si fabbricano le case con una specie di argilla rossastra senza calce. L'imbiancamento esteriore è inutile poiché la calce non fa lega col granito, e sarebbe quindi tolto dalla pioggia. La calcina altronde manca assolutamente in questo luogo, facendola venire da Oliana."*
>
> *"Il suolo di Lanusei è granitico e le sue strade sono tagliate in gran parte nella roccia. Tutte le case son fabbricate con questa qualità di pietra, che dà loro solidità, e le rende aggradevoli all'occhio"*

E ancora nell'Atlante[2]:

> *"Nelle zone montane si impiegano pietre non lavorate, unite con qualunque tipo di malta e non intonacate, per cui, senza uscire dal paese, il viaggiatore può avere un'idea del tipo di rocce presenti nella zona"*

Si tratta quasi di un assioma, perlomeno nel caso dei piccoli centri (mentre è del tutto evidente che nelle città, e tanto più esse erano importanti ed in relazione col mondo, ad esempio Roma o Venezia in ambito extrainsulare, la disponibilità di materiale litico era decisamente varia e non solo in relazione al territorio di fondazione). Ma gli stessi nuragici sono sempre stati propensi ad utilizzare per i loro imponenti monumenti le pietre disponibili nell'area. Solo quando alla struttura si attribuiva un particolare valore simbolico/religioso, si utilizzavano lapidei le cui cave potevano anche essere relativamente lontane dal luogo di edificazione.

Ad esempio, nell'area "sacra" di *Su Tempiesu* di Orune, in territorio di graniti e di scisti, ed a ridosso di un versante di scisto, impiegarono basalto e trachite per realizzare conci perfettamente sagomati ed utilizzarono gli scisti locali solo per la realizzazione di lastricati, coperture di muri e riempimenti intramurari, con fango come legante[3].

L'abbinamento con la terra ritorna anche nelle opere letterarie più recenti. Scrive Niffoi[4] in *Cristolu*:

"Sono nato in una domo del vicinato di Sa'e Cuitza, quattro mura di pietra piccole e spigolose tenute insieme da un fango rossiccio che insanguinava il cortile ad ogni pioggia…Il tetto era di rami storti e nodosi, coperti di canne legate con giunco e tegole lanose fissate con sabbia e calcina. Al centro c'era il focile, su un ripiano di mattoni in terra cruda."

E ancora in *La sesta ora*[5] a proposito del granito che talvolta nasconde amare sorprese:

"…un'annata mala, di quelle in cui i blocchi del granito si sbriciolavano come torrone, perché anche Troddiofrimu si convertisse al credo del 'chi me lo fa fare'. Non gli riusciva di scolpire una pietra, tutto quello che toccava diventava pietrame da discarica."

Interessante anche quanto scritto ancora dal Della Marmora nell'Atlante[6] su "*Le case di Tempio e dei villaggi di Terranova e della Gallura*":

"…che non dispongono di calce sul posto sono costruite interamente con pietre da taglio di un granito durissimo e molto bello che si cava con discreta facilità servendosi di cunei di ferro o di legno inumidito"

E nell'*Itinerario*[7]:

"Orosei, …. Questo cospicuo villaggio è fabbricato a piedi d'una collina appianata, sormontata da un resto di scolo di lava nera basaltica, che riposa sopra arenarie, e di banchi calcarei di formazione terziaria."

"Dorgali si trova fabbricato sulla roccia basaltica ma le case della parte superiore dello stesso villaggio toccano la roccia calcarea di M. Ardia, ed il granito che lo sopporta: quindi si trova al contatto di tre terreni formate da ben differenti roccie"

"Si può dire che Dorgali è collocato nel limite di tre specie di terreni ben diversi, perché è fabbricato a piedi d'una grande montagna calcarea, e riposa sul granito, mentre il basalto si mostra in filoni, o in grandi scoli che si sono rivolti nel vallone…Il villaggio di Dorgali è assai ben fabbricato. Le case sono comode e ben costrutte…"

Concludiamo le citazioni con il tema delle nuove costruzioni e dei nuovi materiali oggi importati nella Sardegna, come solo un buon scrittore come Niffoi riesce a riassumere con efficacia ne *La sesta ora*[8]:

"La Casa di Vetro dei Voettone era diventata un santuario di cristalli rotti e polverosi, chiazzate quà e là di nidi di rondine e vespe terraiole. Se l'era giocata il malocchio quella cattedrale di veleni, con le sue campate di ferro che a malagana avrebbero tenuto un pergolato e quei pilastrini tubolari che ciondolavano ad ogni raffica di maestrale. Meno male che era fatta a progetto. Architetti e ingegneri buoni solo di fama, che non avevano imparato una mincia dai loro padri nuragici. A vederlo dal passo di Su Carru Mannu la casa sembrava un'astronave che si era spanciata sulla collina.*

**('fatta a progettu', come si diceva allora con vanagloria per le case costruite dopo che qualche geometrino le aveva disegnate portando innovazioni copiate dalle riviste o da architetti del continente)".*

2.2. TIPOLOGIE LITICHE E DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO

Come detto nel precedente capitolo, in Sardegna si ritrovano rocce che sono le vestigia di una articolata e lunga storia geologica della durata di oltre 500 milioni di anni.

I materiali dell'edificare storico sono un riflesso diretto della disponibilità di rocce nel territorio dell'insediamento per quanto concerne le strutture murarie portanti e della disponibilità di specifiche specie arboree riguardo alle parti di copertura.

Ciò era valido nella preistoria, ad esempio durante la stagione nuragica, esaltante proprio per le sue imponenti realizzazioni architettoniche in pietra. E lo è stato ancora nell'800 come diffusamente precisato da La Marmora.

È solo nel '900, ed in particolare nel secondo dopoguerra, che viene meno la diretta connessione tra l'edificare ed i materiali naturali rinvenibili nel territorio.

Dal punto di vista "materialistico", la complessa articolazione geo-litologica dell'Isola può essere ricondotta ad un numero sostanzialmente limitato di casi; si parla infatti correntemente di paesi "del granito", del "basalto", "della trachite", etc.

Quindi questa trattazione, utilizzando termini tecnici tradizionali, si occuperà (in termini di età delle formazioni, dalle più recenti alle più antiche) di basalto, trachite, rocce sedimentarie (calcari e marne), graniti e scisti. A questi si potrebbe aggiungere la "terra", che però non costituisce oggetto di questa trattazione se non come materiale "accessorio", impiegato come malta di allettamento e intonaco o come materia prima per la realizzazione delle tegole e delle limitate quantità di mattoni cotti impiegati congiuntamente alla pietra in particolari parti delle costruzioni tradizionali e di cui si parlerà quindi nel successivo capitolo sui materiali complementari.

Di seguito vengono mostrate le aree prevalenti nelle quali si possono trovare queste tipologie di rocce. Risulta evidente come dalla loro sovrapposizione si possano riscontrare situazioni con la contemporanea presenza di materiali di diversa natura.

Come mostrato nella Figura 2.1, il basalto è concentrato in larga parte nell'area centro-occidentale dell'Isola; più a sud sono le aree delle "giare" di Siddi, Gesturi, ed in prossimità della costa orientale le aree sui comuni di Dorgali e Orosei.

La presenza di rocce denominate tradizionalmente e commercialmente "trachiti" (termine che comprende diverse tipologie di rocce vulcaniche), caratterizza ampie aree della Sardegna centro-occidentale mentre è molto più limitata, ma non esente da applicazioni nella realizzazione delle murature, in diversi importanti centri dell'Ogliastra (Figura 2.2).

Le rocce sedimentarie di natura calcarea in opera nelle diverse zone dell'Isola, sono piuttosto diversificate (calcari veri e propri, marne, calcareniti, dolomie etc.) e sono distinguibili in due ere successive.

Le più recenti raccolte in due nuclei consistenti in Marmilla e nel cagliaritano (marne argillose e calcareniti sublitorali) e nel sassarese (calcareniti, marne arenacee, siltiti), quella più antica (mesozoica) in varie "isole" delle

quali la più nota per l'attività estrattiva moderna è quella di Orosei (giurassica) (Figura 2.3).

I graniti sono le rocce che occupano probabilmente la maggiore superifcie, circa ¼ della Sardegna, interessando l'intero territorio della Gallura, estendendosi alle Barbagie fino al Sarrabus oltre ad aree di minore interesse (Figura 2.4).

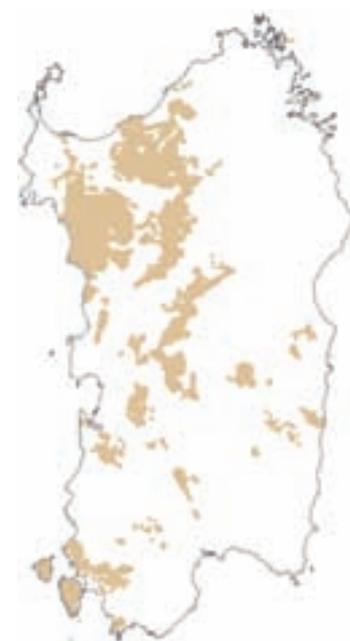
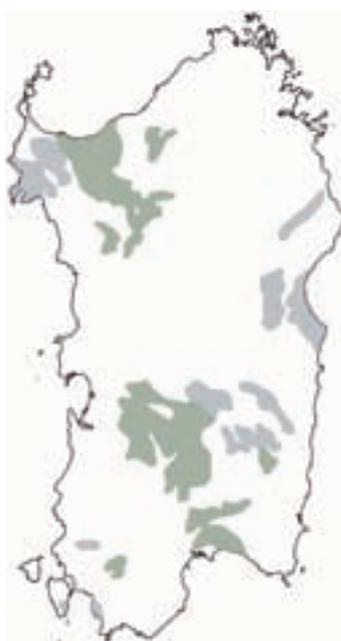
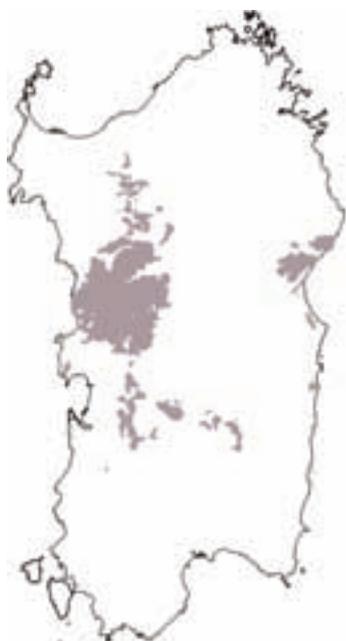
Nella Figura 2.5 sono indicate le aree relative alle rocce metamorfiche, quelle più antiche dell'Isola. Fra queste gli scisti, presenti soprattutto in alcune zone della Barbagia e dell'Ogliastra, che sono stati utilizzati nell'edificazione di alcuni Centri Storici sia da soli che associati ad altre tipologie di rocce. In quest'ultimo, caso data la loro facile sfaldabilità, venivano utilizzati soprattutto per assecondarne i piani di appoggio di conci di natura diversa.

In alto, da sinistra:

Fig. 2.1. Le aree dei basalti.
Fig. 2.2. Le aree della trachite.
Fig. 2.3. Le aree dei materiali calcarei (calcari, calcareniti e marne in grigio; calcari e calcareniti in verde).
Fig. 2.4. Le aree del granito.
Fig. 2.5. Le aree delle metamorfiti.

2.3. DURABILITÀ DELLE DIVERSE ROCCE

2.3.1 Basalti

La microstruttura del basalto è caratterizzata da individui cristallini spesso ben sviluppati, immersi in una matrice a grana molto fine o amorfa, attraversata frequentemente da una rete di microlesioni.

Nella Figura 2.6 viene riportata la sezione di un campione di basalto.

I basalti sono tra le rocce maggiormente resistenti alle sollecitazioni ambientali ed a quelle meccaniche risultanti dal loro impiego nella tecnica delle costruzioni, ivi compresa la resistenza all'usura delle pavimentazioni. Per quanto riguarda in particolare i litotipi sardi, basta la testimonianza di alcune fra le più imponenti costruzioni nuragiche quali il "Su Nuraxi" di Barumini, il "Losa" di Abbasanta e l'"Arrubiu" di Orroli.

Differente è la stabilità chimica dei minerali rispetto agli agenti meteorici ed in particolare all'acqua. La presenza di una rete di microlesioni ne favorisce la penetrazione e le conseguenti reazioni. La neoformazione di minerali del gruppo delle argille, fillosilicati, è il principale prodotto di alterazione. Con poca fase vetrosa l'ordine del weathering è in genere: olivina, labradorite, augite, ossidi di ferro e titanio, mentre in presenza di abbondante fase amorfa è: vetro, olivina, augite, labradorite, ossidi di ferro e titanio.

È possibile applicare alcuni indici come misura quantitativa dello stato di alterazione; in sostanza essi sono basati sulla quantità di argille, ed in particolar delle smectiti, le forme espansive presenti.

Fig 2.6. Sezione di un campione di basalto.

Fig 2.7. Conci di basalto in opera a Sedilo

L'indice SAI, *Smectite Alteration Index*[9] è definito dal rapporto tra le intensità dei segnali di diffrazione dei raggi X (Tabella 2.1):

SAI = (smectite, a "15 Å") / (plagioclasio, a "3.2 Å").

Valore SAI	Definizioni corrispondenti del grado di alterazione
0	Trascurabile (Fresh)
0 ÷0,25	Lieve (Slightly altered)Microporosità 2÷7
0,25 ÷0,50	Significativo (Moderately altered)
0,50÷0,75	Forte (Highly altered)
> 0,75	Intenso (Completely altered)

Tabella 2.1. Alterazione dei basalti; classificazione secondo l'indice SAI.

Un altro indice è il *Secondary Mineral Rating*, SMR ([10] Cole 1980):

SMR = [S(P M)] T,

con P, percentuale di minerali secondari (derivanti dall'alterazione di quelli originari, argille), M misura empirica dell'incidenza della loro alterazione e T che rappresenta il *Textural rating for the rock*. Ad esempio, se R_{sm} risultasse > 140, il basalto sarebbe da ritenersi inutilizzabile come aggregato per calcestruzzo in quanto il tenore di argille espansive sarebbe tale da compromettere la stabilità dimensionale dei manufatti sotto normali cicli termoigrometrici.

Il magma dalla solidificazione del quale si originano i basalti, presenta oltre ad una fase solida cristallina ed a quella fluida viscosa, dalla quale si originerà la fase amorfa, anche una componente aeriforme, costituita in prevalenza da acqua (vapore) e talvolta da anidride carbonica (ma numerosi sono anche gli altri gas). Al rilascio nell'atmosfera di questi gas in fase di solidificazione del magma venuto a giorno, si deve la presenza macroscopica di bolle nel materiale (basalto vescicolare), talvolta chiaramente orientate nel verso dello scorrimento della colata.

È evidente che questa macroporosità comporta una certa penalizzazione delle prestazioni meccaniche (che rimangono comunque ben sopra le ordinarie necessità) ed è anche un fattore che amplia la superficie di alterazione per esposizione alle acque. La presenza di questi difetti ne favorisce viceversa la sagomabilità/lavorabilità.

Fig 2.8. Sezione di una trachite "rosa".

Fig 2.9. Sezione di una trachite"grigia".

2.3.2 Trachiti.

Le trachiti sono rocce costituite da un complesso di frammenti tra loro variamente saldati, e quindi con porosità residua, dispersi in una matrice a carattere prevalentemente amorfo, variamente alterata ed in particolare argillificata. Generalmente derivano dal materiale vulcanico emesso in atmosfera, spesso per altezze considerevoli, in eventi di tipo esplosivo. I gas ad alta temperatura e l'aria calda fungono da agente di

trasporto delle parti liquide o solide, derivanti sia dal magma che da parti dalle rocce preesistenti nei condotti (i cosidetti litici).

A seconda della dimensione vengono classificate come bombe (con diametro medio che eccede i 64 mm e forma arrotondata), blocchi (ancora con diametro > 64 mm ma forma irregolare), lapilli (tra 64 e 2 mm) e ceneri (< 2 mm).

La caduta al suolo per azione gravitativa, progressivamente esauritasi la spinta dei gas caldi, o che talvolta si manifesta come l'andamento di "nubi" che fluiscono sui pendii e sulle stesse piane, porta infine alla costituzione di depositi di vario spessore (o potenza).

Figura 2.10 Conci di trachite in opera a Busachi

Figura 2.11 Conci di trachite in opera a Serrenti

Fig 2.12 Campione di marna.

Fig 2.13 Campione di calcarenite.

Il grado di consolidamento delle rocce piroclastiche è quanto mai vario e dipende dalla composizione dei materiali vulcanici, dalla loro temperatura (per la quale taluni sono come in uno stato plastico, facilmente deformabile e saldabili tra loro) e dalla pressione esercitata dal carico dei materiali soprastanti. Ma la roccia come oggi reperibile, può anche essere stata fortemente alterata nel suo deposito nel corso del tempo geologico, soprattutto per azione delle acque, a seconda della porosità, della composizione mineralogica e della temperatura.

Uno dei principali risultati di questi processi diagenetici è la formazione di argille (caolinite, clorite, illite-mica, smectiti), soprattutto a spese della originaria fase amorfa (derivante dai componenti emessi che si sono raffreddati più velocemente e i cui atomi non hanno quindi avuto il tempo di riorganizzarsi in strutture ordinate su larga scala).

Queste neoformazioni hanno una rilevante importanza tecnologica, soprattutto se le argille manifestano un comportamento espansivo al succedersi dei normali cicli igrometrici ambientali. Le foto riportate nelle Figure 2.8, 2.9, mostrano alcune strutture tipiche di questi materiali. Le Figure 2.10, 2.11, mostrano alcuni conci di queste due tipologie di trachite in opera nelle murature.

Il degrado del materiale piroclastico in opera si manifesta a seconda della sua compattezza e dell'entità del processo di argillificazione. Sulle lesioni macroscopiche che caratterizzano anche le bancate delle diverse formazioni, agiscono i fattori generali mediati dalla presenza e dalla circolazione delle acque meteoriche, sia a livello fisico (esempio la gelività) che chimico (dissoluzione) e biologico (crescita di vegetali e specie animali). A seconda delle *facies* si ha quindi una prevalenza di fratturazioni, scagliature o polverizzazioni.

Duzgoren-Aydin[11] utilizza sei gradi progressivi (I¸ VI) di alterazione, definiti da caratteristiche macroscopiche (tipo "*large pieces can be broken by hand*") e petrografiche (tipo "*completely altered plagioclase*", "*fresh quartz*").

Inoltre, per la valutazione del grado di alterazione per esposizione agli usuali agenti meteorici dei differenti climi, sono stati presentati in letteratura decine di indici, di carattere prevalentemente chimico che vanno dal rapporto tra componenti mobilizzabili e non (ad esempio: Al_2O_3/ Al_2O_3+Na_2O+CaO) o anche tra mobilizzabili (ad esempio: K_2O / Na_2O) ([12] Duzgoren-Aydin).

2.3.3 Calcari e Marne

Termini essenziali dei calcari utilizzati nelle costruzioni isolane sono la sostanziale monomineralicità (calcite $CaCO_3$, dolomite Ca Mg $(CO_3)_2$) e le micro discontinuità tipiche dalla loro genesi di materiali derivanti dall'accumulo e dalla compattazione (diagenesi, litificazione) di materiale di derivazione biologica (scheletri, gusci, fanghi a nanofossili, con cementi derivanti dalla dissoluzione degli stessi e riprecipitazione di calcite). Nelle Figure 2.12, 2.13, sono riportati alcuni campioni di rocce calcaree. Le Figure 2.14, 2.15, mostrano rispettivamente conci in marna e in calcarenite in opera.

La documentazione sui fenomeni di alterazione generale dei materiali calcarei è certamente amplissima, sia perché tale è stato il loro impiego sia perché essi sono intrinsecamente facilmente attaccabili dagli agenti

Fig 2.14 Conci di marna calcarea in opera a Villanovaforru

Fig 2.15 Conci di calcarenite in opera a Thiesi

Fig 2.16 Vene di calcite che "saldano" un blocco di calcare.

inquinanti a carattere prevalentemente acido che caratterizzano gli ambienti antropici fortemente urbanizzati ed industrializzati. Questi contesti sono tuttavia molto diversi dai centri abitati oggetto di questa trattazione.

In questo ambito la sensibilità all'azione dilavante delle acque meteoriche (il cui pH di equilibrio con la CO_2 atmosferica è circa 5.8, ma può essere sensibilmente più acido in presenza di forme di inquinamento) non ha effetti apprezzabili sulle superfici grezze dei conci da muratura (la solubilità della calcite è di 0.02 g/litro; quella della dolomite è pari a 0.32 g/litro).

In natura le acque ricche di ioni bicarbonato possono a loro volta ridepositare la calcite.

I calcari, complice la relativamente facile solubilizzazione/rideposizione della calcite nelle/dalle acque naturali infiltrate sono materiali "auto-riparantisi", alle scale del tempo geologico o con una dizione moderna "smart/intelligenti". La Figura 2.16 mostra alcuni esempi di sutura naturale rivelatisi estremamente efficaci su conci in opera.

Pur essendo poco rilevante nel nostro caso, segnaliamo per completezza della trattazione, che esistono numerose formule di carattere empirico-statistico per esprimere la riduzione dello spessore per secolo in funzione del pH (deposizioni a umido), del tenore di ossidi di zolfo (deposizioni a secco) e della piovosità; ad esempio Lipfert [13], per l'intervallo di pH tra 3 e 5 propone la relazione:

$$L = 18{,}8\ R + 0{,}016\ R[H^+] + 0{,}18(VdS\ SO_2 + VdN\ HNO_3),$$

essendo L il valore della recessione in mm/anno, R la precipitazione in m/anno, $[H^+]$ in moli/litro e SO_2 e HNO_3), in μg/anno. Le riduzioni di spessore per azione delle acque meteoriche a pH tra 4 e 5 sono in genere comprese tra 0,1 e 1 mm/secolo.

Sull'influenza delle discontinuità naturali della roccia vale in generale quanto detto per tutti i litotipi considerati. Esse portano a situazioni che favoriscano la penetrazione delle acque ed eventualmente ai fenomeni espansivi, l'indebolimento dei legami, all'insediamento dell'apparato radicale delle specie vegetali etc.

Sul materiale in opera non può escludersi il distacco di scaglie o persino la fratturazione per l'insorgere di sollecitazioni di flessione e di taglio in seguito a movimenti della struttura muraria che finiscano per scaricarsi su particolari conci, ma ci pare che si tratti di situazioni particolari e quindi non costituenti un vero problema conservativo del materiale.

Fra le rocce calcaree ve ne sono alcune più soggette al degrado fisico-meccanico come le calcareniti o le marne. In entrambi i casi il fattore controllante è la loro porosità e la conseguente minore resistenza meccanica rispetto ai calcari compatti. Nel caso delle calcareniti questo aspetto si può dire sia generalmente "distribuito" in maniera omogenea all'interno dei conci; per le marne la frazione argillosa presente rappresenta spesso l'anello debole del sistema, avendo la capacità di assorbire acqua con una certa facilità. L'azione meccanica delle acque meteoriche nel primo caso e i problemi legati alla gelività nel secondo, possono portare a frequenti condizioni di degrado.

2.3.4 Graniti

I graniti sono rocce costituite da grani di dimensione perfettamente apprezzabile ad occhio nudo, che talvolta raggiungono dimensioni centimetriche (o anche oltre i dieci centimetri, nel caso di alcuni cristalli di feldspato). Le foto riportate nelle Figure 2.17a, 2.17b, indicano chiaramente i termini essenziali della struttura di questi materiali: assenza di porosità intesa come vuoti tra i grani, minerali differenti (e quindi anche con differente stabilità chimica e di differenti proprietà fisico-meccaniche) e microfessure, sia all'interno di alcuni grani che tra i reciproci contatti. Le Figure 2.18, 2.19 mostrano il particolare di murature realizzata con conci in granito.

Probabilmente una delle immagini più note di alterazione dei monumenti in granito, anche ai semplici curiosi, è costituita dall'obelisco egizio che è stato collocato nel Central Park di New York nel 1881. Negli anni 1881-1885 una delle sue facce, quella esposta ad ovest, perse circa 700 libre di materiale e pressoché completamente la sua leggibilità. Un trattamento delle superfici con cera a caldo (attuato da subito a Londra su un obelisco gemello, che non subì effetti così devastanti) stabilizzò il monumento. Il fenomeno è stato variamente interpretato; da alcuni è presentato come esempio dell'azione del clima rigido o dell'inquinamento o della

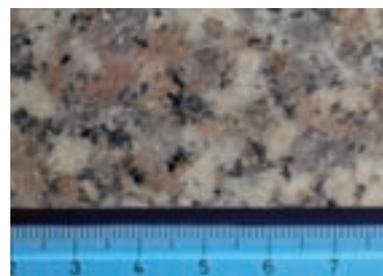



Fig 2.17a, 2.17b. Sezione levigata di due diverse tipologie di granito

Fig 2.18. Conci di granito in opera a Gavoi.

Fig 2.19. Conci di granito in opera a Bortigiadas.

cristallizzazione salina[14].

Un fatto che occorre tenere in considerazione è che gli studi pubblicati sull'alterazione delle superfici levigate, ad esempio quelle di colonne romane o veneziane, possono aver una limitata utilità nel nostro contesto di superfici grezze. I graniti sono generalmente soggetti a fenomeni concomitanti di alterazione di tipo fisico (che si manifesta con l'insorgenza o l'ampliamento in estensione e in ampiezza delle fessure tra- e inter-granulari, al distacco di scaglie per espansione di acqua, sali, ghiaccio o per rilascio di tensioni dormienti originarie o indotte dalla lavorazione o per coazioni della muratura), biologico o chimico (alterazione con delaminazione e cessione di ioni ferro con conseguenti macchiature della biotite, argillificazione/sericitizzazione dei feldspati, accelerata dalla acidificazione delle acque; l'anortite è meno stabile dell'albite e questa dell'ortoclasio, etc.). In ambienti urbani inquinati le superfici dei manufatti granitici non sono esenti dalla deposizione di croste nere il cui componente gessoso, evidentemente originatosi nell'ambiente aereo, può penetrare nelle fessure contribuendo con i suoi effetti espansivi alla decoesione. Per tale fenomeno sono descritti anche effetti negativi dovuti alla presenza di calce e cementi come componenti della muratura[15-16]. Gli effetti fisici dovuti al succedersi dei cicli termici sono spesso citati come causa di sgranamento delle superfici ma non sono ancora ben chiariti dal punto di vista quantitativo e cinetico. La natura polimineralica rende i grani diversamente sensibili al riscaldamento; alcuni ricercatori hanno trovato che se in date condizioni la temperatura dei grani di quarzo è di 29°C, quella della biotite è di 52°C e del feldspato di 37°C. La conducibilità termica del feldspato è di 2.4 $WK^{-1}m^{-1}$, della mica ortogonalmente alla stratificazione 0.43 $WK^{-1}m^{-1}$. Tra 20 e 100°C si possono assumere dilatazioni dello 0.0057% per il quarzo, dello 0.0017% per l'ortoclasio, dello 0.0011% per un plagioclasio.

Ma secondo diversi ricercatori, tutti queste differenti caratteristiche termiche non sono di per se sufficienti a portare a significativi effetti di degrado in assenza di molecole d'acqua (umidità) nelle fessure[17].

Numerosi parametri sono stati impiegati per qualificare e quantificare lo stato fessurativo microstrutturale dei graniti (che è in parte del tutto naturale essendo legata alla genesi da cristallizzazione dal magma fuso). Perez-Ortiz et Ali 1994, ad esempio, utilizzano i seguenti termini:

- La superficie specifica delle fessure interne, riferita all'unità di volume; è espressa in μm^{-1} (mm^2/mm^3);
- La dimensione frattale dei profili delle fessure osservate in sezione (incidentalmente si riporta che la dimensione frattale delle particelle di granito disaggregato è stata valutata in 2.22 (Hatmann, 1969);
- La densità lineare delle fessure, come numero di intersezioni tra le fessure ed un segmento di riscontro (numero di fessure per millimetro).

Posto quindi che minerali alterati e fessure sono una misura del grado di alterazione (quindi come in altri settori della qualificazione delle rocce), anche per i graniti sono stati proposti degli "indici" di degrado. Il loro impiego come sempre non è generalizzabile ma è utile in ambiti ben definiti. Ad esempio, da una opportuna campionatura di sezioni pe-

trografiche è stato definito (in Cristaras, 1989) un:

> *weathering index* = (% minerali alterati + % microfessure) / (% minerali inalterati),

con la valutazione delle diverse % condotta al microscopio sui punti di una griglia. Parametri tecnologici quali la resistenza a compressione, a flessione (alla "brasiliana"), il modulo elastico, la velocità di propagazione degli ultrasuoni, il peso specifico, la capacità di assorbimento e di ritenzione dell'acqua etc. sono state correlate con una certa efficacia, con relazioni di tipo lineare o esponenziale, con indici di questo tipo.

3.3.5 Scisti

L'aspetto micro e macro-strutturale più significativo dal punto di vista dell'impiego nella tradizionale tecnica costruttiva di alcune rocce metamorfiche è certamente quello della "scistosità", (Figure 2.20, 2.21, relative rispettivamente, ad un singolo campione ed ad una bancata), presente a vario grado a seconda della composizione mineralogica della roccia originaria e dell'entità degli agenti (temperatura e pressione) del metamorfismo che ha alterato in diverso tenore rocce preesistenti, di differente origine. La Figura 2.22, mostra il particolare di una muratura realizzata con conci in scisto.

Fig 2.20. Campione di scisto.

La scistosità condiziona in modo spesso determinante la durabilità di questi materiali, anche se essi sono complessivamente assai affidabili. È significativo che il più famoso complesso di grattacieli, quello di Manhattan a New York, sia proprio associato allo scisto definito "*the geological foundation that makes New York City unique in the world* ".

Ma per la definizione delle caratteristiche di durabilità ci si scontra, ancor più che nel caso dei granitoidi, con la mancanza di una adeguata letteratura non solo per quanto riguarda gli espliciti riscontri nel settore dei Beni Culturali, ma in generale anche per quanto concerne la tecnica costruttiva.

I fenomeni di degrado di tipo fisico-meccanico sono strettamente le-

Fig 2.21. Caratteri macroscopici della scistosità.

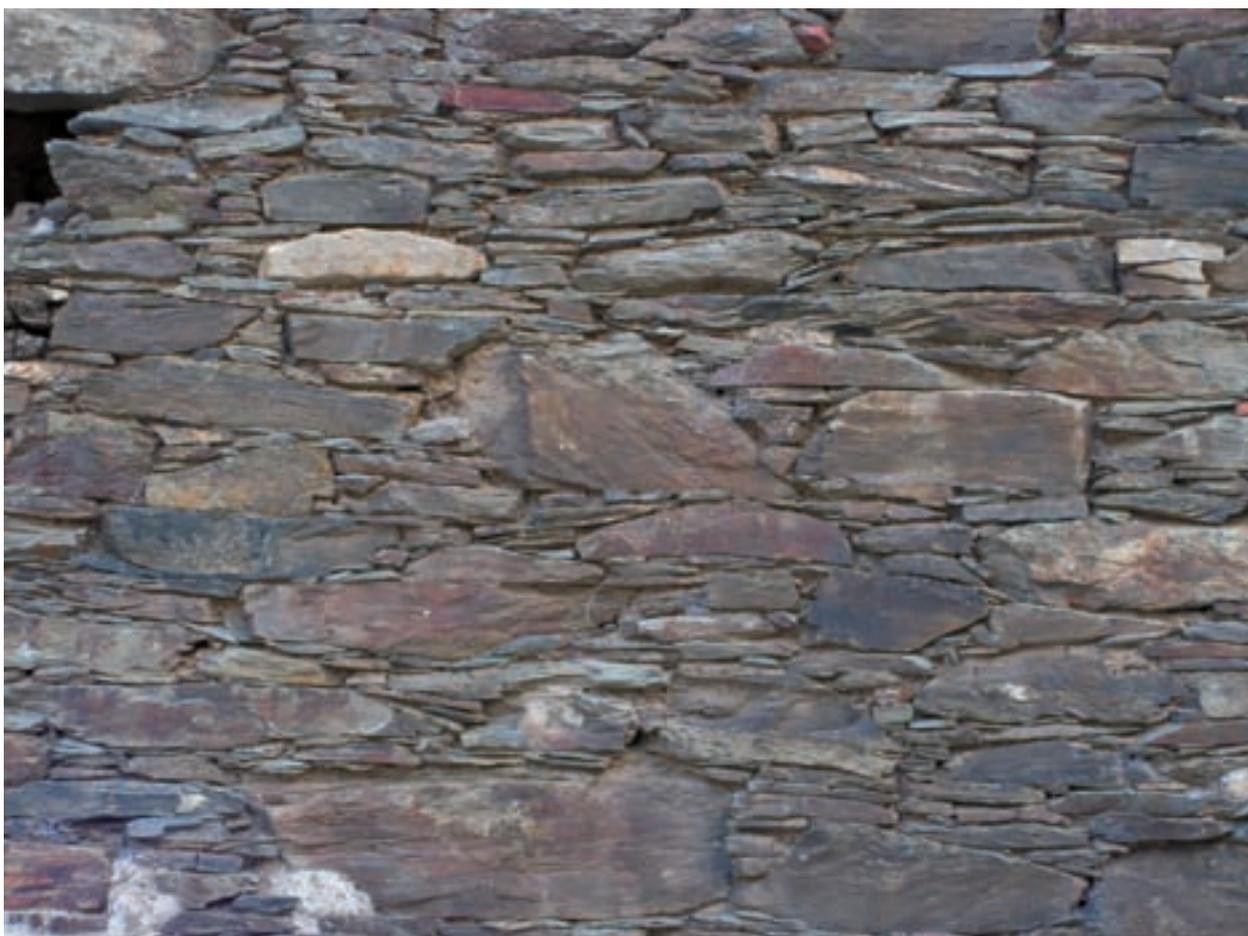



Fig 2.22. Muratura in scisto in opera a Ussassai.

gati alla struttura dei materiali. Le superfici di clivaggio e la stratificazione dipendenti dalla composizione mineralogica, costituiscono i principali termini di discontinuità dai quali infatti ci si avvale correntemente (per ardesie, filladi e scisti in particolare) nelle operazioni di cava e di sagomatura.

Durante tali operazioni "si fa leva" sulle superfici più deboli, o tra queste su quelle opportune quanto allo spessore richiesto dall'opera. Ma queste parti deboli non sono certo le uniche presenti: da tutte le superfici di discontinuità possono svilupparsi successivamente fratture sia per rilascio di tensioni (dormienti finchè il pezzo è parte di un banco che lo vincola con i gravame del suo carico) sia perché sollecitate dalla penetrazione delle acque ed eventualmente per i cambiamenti di fase di quest'ultima, sia nel caso della formazione di ghiaccio o di evaporazione con deposizione di sali (apportati dall'aerosol marino o dissolti da altri materiali da costruzione a contatto quali calci e cementi) o ancora per la proliferazione di componenti vegetali.

Particolare attenzione è prestata allo scavo ed alla conservazione di oggetti in argilloscisti/shales in ambito archeologico proprio perché le variazioni igrometriche possono facilmente portare a variazioni dimensionali (ritiro, in essiccamento) che inducono aperture e quindi fratture (Sease, Construction and Management, 1987).

Le operazioni di taglio, o le frane naturali, e di giacenza dei pezzi per un certo numero di anni sul terreno, operano una specie di selezione naturale dei piani di discontinuità, promuovendo lo sviluppo dell'apertura di quelli più vulnerabili agli atmosferili, e quindi facendo in modo che il materiale raccolto e posto successivamente in opera sia ragionevolmente

stabile nei tempi storici dell'utilizzo degli edifici. Fenomeni di delaminazione sono comunque sempre riscontrabili, ad esempio sulle lastre di ardesia (Fratini, 1988).

Gli effetti del degrado chimico delle rocce metamorfiche (chemical weathering), a volerlo discutere per ragioni didascaliche come soggetto a parte pur ritenendolo pressochè inscindibile da quello fisico ed eventualmente biologico, decorrono in genere su tempi talmente lunghi da essere poco apprezzabili nell'ambito del costruito che attiene alla presente comunicazione.

Per affioramenti naturali di rocce metamorfiche, la geomorfologia riporta riduzioni di spessore di 0.05-2.20 mm/1000 anni. Fenomeni di alterazioni cromatiche significative in tempi brevi si riscontrano nella ben nota ardesia ligure (Lavagna, etc.) a causa della dissoluzione degli strati carbonatici e dell'ossidazione del materiale organico di natura bituminosa (Fratini, 1988).

In geomorfologia prende il nome di saprolite la terra che si forma come prodotto locale dell'alterazione profonda di una roccia ignea o metamorfica. La dimensione frattale dei frammenti di uno gneiss disaggregato ha dato il valore di 2.13 (Hatmann1969).

Nel caso degli gneiss è stato riconosciuto utile definire un'articolazione del processo alterativo in due stadi (Le Pera et Alii, 2001, ad esempio). Nella prima fase si osserva l'insorgere della microfratturazione, mentre nella seconda questa rete di lesioni si amplia e si sviluppa l'attacco chimico sui minerali feldspatici e nella biotite con formazione di argille (clorite, caolinite, halloysite, smectiti) ed ossidi di ferro e di alluminio.

All'aumentare del degrado cresce la % di argille nella roccia, fino a circa il 40%. Anche le variazioni di peso specifico possono essere un indice efficace; ad esempio si sono riscontrate variazioni da 2.8 nello gneiss sano a 1.3 nel corrispondente saprolite (Grant 1964).

Nell'idrolisi acida dei silicati degli gneiss e degli scisti i cationi Na, Ca, K e Mg sono rapidamente mobilizzati, ma gli ultimi due sono in parte fissati entrando nella costituzione delle argille di neoformazione. Numerosi indici chimici di alterazione sono discussi da Price (2003); ad esempio il WIP è definito dalla relazione:

$$WIP = 2Na_2O/0.35 + MgO/0.9 + 2K_2O/0.25 + CaO/0.7$$

ed assume valori maggiori di 100 nelle parti di roccia sana e tendenti allo 0 in quelle fortemente alterate.

2.4. IL RUOLO DEI MATERIALI NELLA STRUTTURA PORTANTE

Le sezioni murarie riportate nei diversi Manuali dell'Opera mostrano gli elementi comuni e caratterizzanti dell'impiego del materiale litico (Figure 2.23, 2.24, 2.25, 2.26).

In particolare si può notare:

1. una larga indipendenza dalla natura del litotipo, che è sistematicamente quello(i) localmente disponibile(i);
2. una minima lavorazione dei blocchi posti in opera, che implica superfici in stato grezzo ed una cura limitata (nel caso dei blocchi ottenuti per spacco) o nulla (nel caso dei trovanti) nella definizione della regolarità dei piani di carico;
3. quindi l'impiego di zeppe e lastrine e di leganti (o riempitivi) a base di terra cruda o di calce;
4. uno spessore della muratura da circa 50 a circa 90 cm; le Norme tecniche sulle costruzioni del 2008 prevedono che nelle nuove costruzioni in muratura di pietra gli spessori minimi siano di 24, 40 e 50 cm, rispettivamente per pietre squadrate e non squadrata (in muratura con listatura in mattoni o calcestruzzo o senza), naturalmente con malta di allettamento;
5. una eventuale intonacatura esterna, di spessore 2÷3 cm comunemente con calce come legante.

La resistenza intrinseca del materiale è largamente sotto-utilizzata o utilizzata il maniera impropria nelle costruzioni oggetto di questa trattazione. La rottura per schiacciamento dell'opera portante, generalmente la muratura, è una conseguenza del venir meno della coesione tra gli elementi costituenti (malte, zeppe, conci, riempimento) piuttosto che del cedimento della pietra in se.

L'anello debole della catena della resistenza è la coesione tra i costituenti prima ancora che la loro resistenza intrinseca. Pertanto a livello di restauro, l'intervento sulla pietra avrà in generale solo un limitatissimo interesse.

Fig 2.23. Muratura ad opera incerta.
Fig 2.24. Muratura a corsi occasionali.
Fig 2.25. Muratura a corsi sub-orizzontali.
Fig 2.26. Muratura pseudo-isodoma.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] A. Ferrero Della Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, Edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, 1868, Traduzione Canonico Spano, Edizioni Trois Cagliari.

[2] A. Ferrero Della Marmora, *Atlante.*

[3] M.A. Fadda, *Interventi di restauro nel tempio a pozzo nuragico di su tempiesu di Orune*, in atti del Convegno Scienza dei Materiali e Beni Culturali: esperienze e prospettive nel restauro delle costruzioni nuragiche, a cura di C. Atzeni e U. Sanna, 54-64, 1990.

[4] S. Niffoi, *Cristolu*, Edizioni Il Maestrale, 2001.

[5] S. Niffoi, *La sesta ora*, Edizioni Il Maestrale, 2007.

[6] A. Ferrero Della Marmora, *Atlante*, *Op. cit.*

[7] A. Ferrero Della Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, *Op. cit.*

[8] S. Niffoi, *La sesta ora*, *Op. cit.*

[9] E.C. Houston, J.V. Smith, *Assessment of rock quality variability due to smectitic alteration in basalt using X-ray diffraction analysis*, Engineering Geology 46(1): 19-32, 1997.

[10] W.F. Cole, M.J. Sandy, *A proposed secondary mineral rating for basalt road aggregate durability*, Australian Road Research 10(3): 27-30, 1980.

[11] N.S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin, J. Malpas, *Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong,* Engineering Geology 63(1-2): 99-119, 2002.

[12] N.S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin, J. Malpas, "*Re-assessment of chemical...", Op. cit.*

[13] F.W. Lipfert, *Atmospheric damage to calcareous stones: Comparison and reconciliation of recent experimental findings,* Atmospheric Environment (1967) 23(2) 415-429, 1989.

[14] E.M. Winkler, *Historical implications in the complexity of destructive sal weathering-Cleopatra's needle*, New York, Association for Preservation Technology Bulletin (APT) XII (2):94-102, 1980.

[15] N. Schiavon, G. Chiavari, D. Fabbri, G. Schiavon , *Microscopical and chemical analysis of black patinas on granite*, in atti del III Internation Symposium on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, June, Venice, Italy pp. 93–99, 1994.

[16] P.F. O'Brien, E. Bell, S. Pavia Santamaria, P. Boyland, T.P. Cooper, *Role of mortars in the decay of granite*, Science of The Total Environment 167(1-3): 103-110, 1995.

[17] D.T. Griggs, *The factor of fatigue in rock weathering*, Journal Geology 44: 781-796, 1936.

capitolo 3 I MATERIALI COMPLEMENTARI

Si raccolgono in questo capitolo le trattazioni dei materiali che sono complementari alla pietra nelle strutture murarie sia come malte di allettamento o legante di riempimento, che per intonacatura (terra e calce, anche in combinazione tra loro) o ancora i laterizi, tegole e mattoni, utilizzati nella realizzazione delle coperture o in alcune finiture.

Fig 3.1. Utilizzo delle malte di terra in murature realizzate in granito.

3.1. LE MALTE DI ALLETTAMENTO

3.1.1. La terra

Come noto la terra è stata largamente utilizzata soprattutto nella realizzazione di strutture in mattone crudo che in Sardegna è documentata perlomeno dalla civilizzazione nuragica (i ritrovamenti si riferiscono alla Prima Età del Ferro, IX-VIII secolo a.C.), ma probabilmente è ancora più antico. Nella stessa epoca, la terra ha avuto anche un importante ruolo in associazione alle costruzioni in pietra.

Pur edificati "a secco", quindi privi di una vera e propria malta di allettamento, i Nuraghi sono stati costruiti facendo uso della terra come materiale di assestamento dei grossi conci in pietra, mai perfettamente regolari. Contemporaneamente con la stessa terra venivano occlusi gli spazi presenti fra un concio e l'altro al fine di evitare un facile accesso dell'acqua.

In alcuni recenti interventi conservativi su importanti siti archeologici di epoca nuragica quali: Genna Maria[1] a Villanovaforru e Is Paras a Isili[2] (Figure 3.2a, 3.2b), questa soluzione è stata riproposta utilizzando "terre" locali come materiale di base per la preparazione di una malta utilizzata sia per ripristinare gli originali piani di carico venuti meno a causa del progressivo degrado di alcuni conci e della loro conseguente rottura per flesso-trazione, che come materiale di riempimento fra i diversi conci. In questi casi alla terra è stata addizionata una piccola frazione di calce aerea per migliorare la sua resistenza all'acqua.

Seguendo la stessa logica, anche in epoca storica, nelle aree dove risultava difficile l'approvvigionamento di calce, vuoi per la mancanza della materia prima (calcare), vuoi per le distanze critiche dal luogo di produzione, il materiale terra è stato largamente usato sotto forma di malta di allettamento/assestamento nelle costruzioni dei Centri Storici dell'Isola.

Questo materiale risulta ancora ben visibile fra i conci lapidei in diverse tipologie di strutture e di materiali ove il tutto non sia stato occultato dalla presenza di intonaci. (Figure 3.1, 3.3a, 3.3b, 3.3c, 3.3d)

La sua scarsa resistenza all'acqua e la sua facile dilavabilità non sembrano aver creato grossi problemi di natura statica. In molti casi la parte più esposta delle stilature è stata parzialmente asportata, ma tutto ciò non ha minimamente compromesso la stabilità della struttura. Naturalmente è diversa la situazione che si viene a creare su strutture parzialmente ruderizzate, dove l'aggressione dell'acqua nei confronti della terra accelera notevolmente il processo di degrado.

3.1.1.1. Genesi, struttura e proprietà

La terra è il prodotto finale di un complesso di fenomeni naturali che partono dalla disgregazione delle rocce primarie quali, ad esempio, graniti e basalti. I detriti derivanti dai processi fisici-chimici-biologici della loro disgregazione sono stati soggetti a movimentazione-trasporto ad opera delle acque, dei ghiacciai e dei venti e ad una contemporanea modificazione sia granulometrica che chimica e mineralogica, prima della deposizione in bacini di accumulo di adatta morfologia.

Fig 3.2.a Utilizzo della terra in recenti interventi di conservazione nel sito Genna Maria, Villanovaforru.

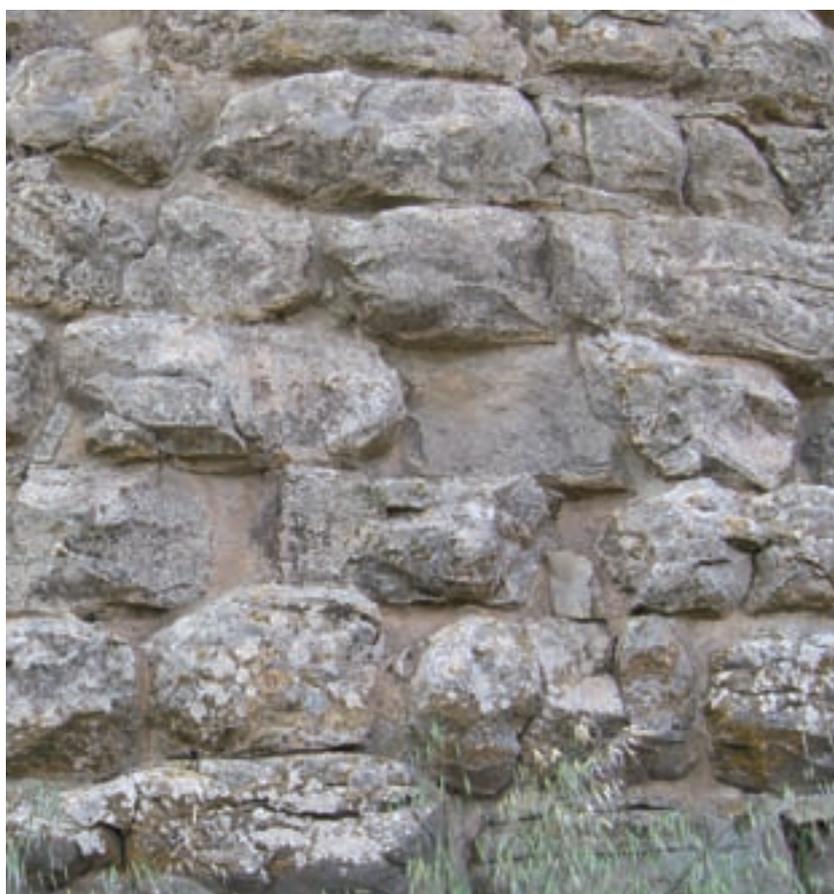



Fig 3.2.b Utilizzo della terra in recenti interventi di conservazione nel sito Is Paras, Isili.

Fig 3.3.a. Utilizzo delle malte di terra in murature realizzate in trachite.

Fig 3.3.b. Utilizzo delle malte di terra in murature realizzate in calcare.

Fig 3.3.c. Utilizzo delle malte di terra in murature realizzate in scisto.

Fig 3.3.d. Utilizzo delle malte di terra in murature realizzate in basalto.

In essa è presente una fase solida di natura inorganica, polimineralica, e con una granulometria che si estende, in modo più o meno continuo, dalle dimensioni della ghiaia (alcuni centimetri) a quella, diecimila volte più piccola, delle argille (per definizione sotto i 2 o 4 mm, a seconda delle convenzioni adottate). La frazione di dimensioni comprese tra 2/4 mm e 64 mm è definita silt o limo mentre quella maggiore di 64 mm e fino a circa 2 mm e denominata sabbia.

Le argille, per le loro particolari proprietà plastiche (quando mescolate con l'acqua), possono essere considerate la frazione nobile della terra. Da un punto di vista chimico sono dei silico-alluminati idrati, i cui atomi costituenti sono aggregati in strutture prevalentemente cristalline con caratteristica geometria (abito) lamellare (fillosilicati). È proprio questa forma, osservabile almeno in taluni casi tramite l'impiego della microscopia elettronica a decine di migliaia di ingrandimenti, che rende conto delle loro caratteristiche.

Senza un'adeguata frazione argillosa la terra non sarebbe impiegabile come materiale legante. È infatti l'argilla che esercita queste proprietà leganti determinanti per le prestazioni sia allo stato fresco, in termini di fluidità, coesione e plasticità che consente quindi l'impasto, l'omogeneizzazione e la formatura, che allo stato indurito (a secco).

La terra utilizzabile viene generalmente "cavata" al di sotto dello strato superficiale del terreno, essendo questo generalmente troppo ricco di materiale organico naturale, scarsamente elaborato, o di scarti di origine antropica.

La presenza di sali solubili nel materiale terra può assumere in alcuni casi un ruolo influente sulla reologia, sulla resistenza meccanica e sulla durevolezza, ove si verificassero le condizioni per la loro mobilizzazione (formazione di efflorescenze e subflorescenze). I sali più comuni nei depositi sedimentari sono i cloruri ed i solfati dei metalli alcalini, sodio e potassio o alcalino terrosi come calcio e magnesio; meno comuni sono i solfuri ed i carbonati solubili.

Nella realizzazione delle case dei centri storici della Sardegna, la terra è certamente sempre stata utilizzata così come disponibile sul posto, dovendo svolgere il semplice ruolo da assestamento del materiale lapideo.

3.1.2. La Calce

Ampie aree della Sardegna presentano disponibilità di calcari ed in esse è ben documentata un'estesa rete di piccoli forni da calce le cui vestigia sono ancora riconoscibili nel territorio ed in alcuni casi interessate a processi di conservazione e di "musealizzazione" da parte delle comunità locali.

Nella cartina della Figura 3.4 sono indicate diverse aree di produzione dove sono ancora riconoscibili sul territorio alcuni antichi forni a calce.

Le foto presentate nelle Figure 3.5, 3.6, ne mostrano due esempi. Una ricerca sistematica, anche con l'importante ausilio di toponimi che fanno chiaro riferimento a calce, calcina etc., non è ancora stata realizzata, ma sarebbe quanto mai opportuna per completare una documentazione già significativa.

I riferimenti storici sono sostanzialmente circoscritti alla grande opera dell'Angius sui comuni dell'Isola e al Della Marmora nei suoi diversi trattati.

Scrive Vittorio Angius[3] a proposito della calce prodotta a Sorso:

> *"La roccia unicamente dominante in questo territorio è la stessa che trovasi nel territorio di Sassari (calcarea). Si fa in vari siti della calce, che però non lega molto forte…."*

E di Belvì dice:

> *"Questa massa componendosi di rocce calcaree e terre argillari, offre un soggetto d'industria ad alcuni di questi popolani i quali vi hanno formate molte fornaci, le une per la calcinazione delle pietre ed altre e tante in circa per li tegoli e mattoni".*

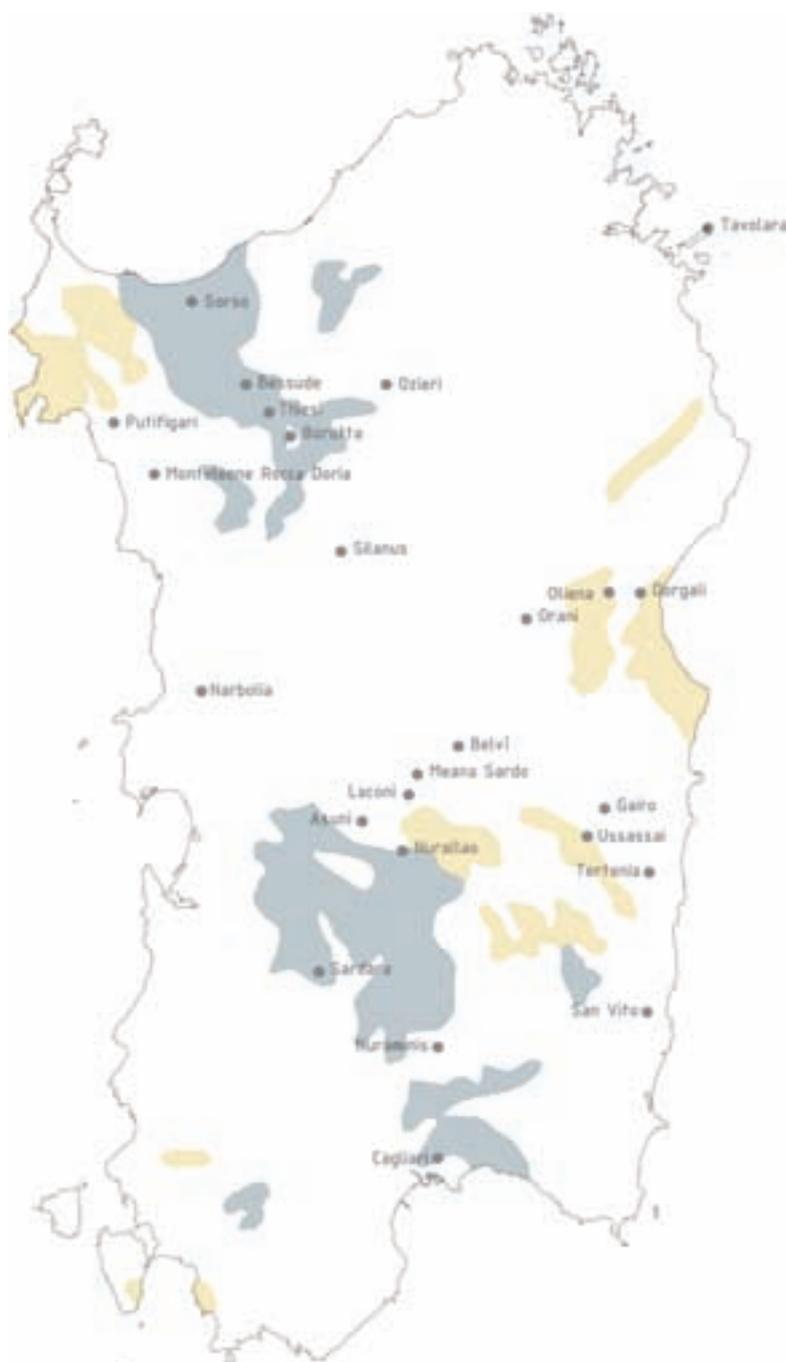



Fig 3.4. Localizzazione di alcuni antichi forni per la produzione della calce.

E ancora su Gairo:

> *"Le rocce calcaree danno buona calcina e si cuociono in venti fornaci con molto lucro vendendosi a reale e mezzo lo starello ai comuni di Arzana, Villagrande, Elini, Ilbono, Lanusei, Loceri ",*

su Meana Sardo:

> *"Le rocce più comuni sono le calcaree, le quali danno una calcina di molta bianchezza e di gran tenacità. I poveri però dovendo imbiancare i loro abituri usano un'argilla bigia che sciolta nell'acqua e data alle pareti le rende sufficientemente candide",*

e su Oliena

> *"…si aggiungano quindi a 35 persone che lavorano in circa 15 fornaci di calce, della quale si fa commercio con altri popoli, ai quali manca la roccia calcarea…"*

Fig 3.5. Forno per calce a Ussassai.

Fig 3.6. Forno per calce a Narbolia. Immagine tratta da P. Carrus, I maestri della pietra e delle antiche fornaci, in: Nurabolia – Narbolia, una villa di frontiera del Giudicato di Arborea, Grafiche Ed. Solinas.

Del ruolo di Oliena parla anche il Della Marmora[4]:

> *"A circa 20 km a est di Nuoro, nella valle del Tirso ai piedi del Marghine è il centro di Illorai, che secondo l'Angius era un centro di produzione della calce "Nel luogo detto Coronas (grotte) superiormente al paese la roccia è calcarea, la quale bruciasi in molte fornaci, e vendesi per le fabbriche del dipartimento".*

Una delle zone più ricche in assoluto di fornaci è quella di Narbolia dove sono dislocate nell'area del territorio 19 fornaci, ciascuna con un proprio nome attribuito in base alla località o legata ad altre particolari situazioni[5]. Abbiamo così:

> *"Su Forru de Istraderi" ; "Su Forru e sa Serra e sa Rughi"; "Su Forru de Funtan'a a Fraigada", "Su Forru Nou" etc.*

Così come la terra, anche la calce, è da considerarsi più che un semplice materiale "complementare", un componente essenziale della murature. In questo caso la calce è stata utilizzata insieme alla sabbia sotto forma di malta.

Un altro suo importante utilizzo è relativo alla posa in opera dei coppi dei tetti, sempre in alternativa alla terra, o ancora nella protezione, quale intonaco, di strutture caratterizzate da lapidei porosi.

Nelle figure 3.7a, 3.7b, 3.7c, 3.7d, 3.7e, 3.7f, sono riportate, a titolo di esempio alcune murature con malta di calce.

Nella cottura del calcare (v. paragrafo successivo), il controllo delle condizioni operative quali: scelta e dosaggio delle materie prime, natura e quantità del combustibile (cisto, corbezzolo, lentischio etc.), tempi e temperature di cottura, era lasciata all'esperienza dell'artigiano, cambiando da zona a zona e incidendo, anche in maniera sostanziale, sulla qualità del prodotto finale.

3.1.2.1. Preparazione, proprietà e normativa

La preparazione della calce è caratterizzata da tre fasi: la decomposizione del carbonato di calcio, che porta alla formazione dell'ossido di calcio; l'idratazione dell'ossido che permette di ottenere l'idrossido, che è la vera fase legante e la successiva formazione del carbonato di calcio per effetto della progressiva reazione dell'idrossido con l'anidride carbonica atmosferica. Dal punto di vista microstrutturale queste neoformazioni di carbonato di calcio si presentano molto più porose e molto meno consistenti meccanicamente rispetto al materiale originario che generalmente è un calcare ben compatto: si è attuata quindi una completa reversibilità chimica ma non microstrutturale.

La materia prima per l'ottenimento della calce è quindi la pietra calcarea. I calcari sono rocce sedimentarie costituite in larga prevalenza da carbonato di calcio, sottoforma di calcite. La calce "viva" corrisponde all'ossido CaO e si ottiene per effetto della loro decomposizione termica, a temperature di circa 900÷950 °C, con emissione di biossido di carbonio secondo la reazione:

$$CaCO_3 \quad = \quad CaO \quad + \quad CO_2$$

Rocce carbonatiche costituite da dolomite, il carbonato doppio di calcio e magnesio, sono soggette a calcinazione con formazione di MgO

Fig 3.7a, 3.7b, 3.7c, 3.7d. Murature con malte di calce.

Fig 3.7e, 3.7f. Murature con malte di calce.

a temperature inferiori di qualche centinaia di gradi. Si ottengono in questi casi le calci magnesiache.

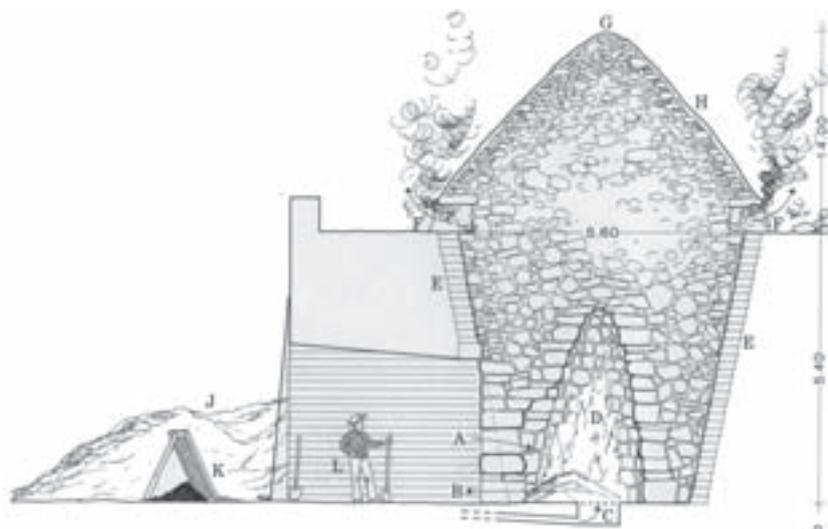
La tecnologia della produzione della calce si è mantenuta costante per millenni. Per la cottura, si utilizzavano frammenti di calcare di una decina di centimetri, impilati in strutture verticali di modo che si potesse avere un'agevole circolazione dei gas caldi di combustione derivanti o da un focolare separato, localizzato nella parte bassa del forno, o derivanti da strati di materiale combustile, quale legno e carbone, alternati a quelli di calcare[6].

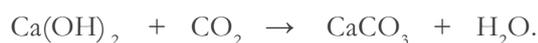
La calce viva, successivamente trattata con acqua da' origine alla calce "spenta", cioè l'idrossido $Ca(OH)_2$:

$$CaO \quad + \quad H_2O \quad = \quad Ca(OH)_2$$

La reazione comporta un forte sviluppo di calore (processo esotermico). Il prodotto finale è una "pasta" costituita dalla dispersione dei cristalli di idrossido ad alto tenore in acqua (detto grassello) che poteva eventualmente essere conservata in fosse scavate nel terreno fino al momento dell'utilizzo nel processo di edificazione. Nel corso del tempo il materiale in fossa subisce una serie di processi di dissoluzione e di riformazione dei cristalli che comporta significativi miglioramenti della capacità di scorrimento e adesive del prodotto.

Il processo di presa e successivo indurimento passa attraverso la re-

Fig 3.8. Forno a calce del XIX secolo. Immagine tratta da J-P. Adam, *L'arte del costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*, Longanesi, 2008.

azione dell'idrossido di calcio con l'anidride carbonica dell'aria secondo la reazione:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O.$$

La CO_2 comincia a carbonatare la calce a partire dagli strati più esterni per poi procedere man mano verso quelli più interni con cinetiche che dipendono anche dal grado di compattezza del materiale posto in opera. La reazione per completarsi nello spesso nucleo delle murature, può richiedere tempi lunghissimi, anche secoli.

La resistenza delle malte di allettamento è generalmente riconosciuta variabile tra 2.5 e 20 MPa. Al riguardo è utile citare l'esperienza espressa dalle vigenti Norme Tecniche sulle costruzioni (2008). Sono previste due distinte modalità di classificazione delle malte di allettamento.

Nella prima modalità si danno sei classi di malte a "prestazione garantita" sulla base della resistenza a compressione, indicate con le sigle M 2,5, M 5, M 10, M 15, M 20 ed M d, dove il valore numerico indica appunto il valore della resistenza a compressione, in MPa, mentre d è un valore maggiore di 25 MPa dietro esplicita dichiarazione del produttore.

Per la seconda modalità le malte sono definite "a composizione prescritta", secondo i dati riprodotti nella Tabella 3.1.

Si osserva quindi che la calce aerea è considerata componente legante esclusivamente della classe di minore resistenza (2,5 MPa), mentre la presenza del cemento non solo non è soggetta ad alcun pregiudizio, ma è indispensabile per ottenere le malte più resistenti meccanicamente (ma comunque non si prevede di superare i 12 MPa)[7].

Tabella 3.1. Parti componenti le classi di malta a "composizione".

Classe	Calce Aerea	Calce Idraulica	Cemento	Pozzolana	Sabbia
M 2,5	-	1	-	-	3
M 2,5	1	-	-	3	-
M 2,5	-	2	1	-	9
M 5	-	1	1	-	5
M 8	-	1	2	-	8
M 12	-	-	1	-	3

3.2. GLI INTONACI

Nel caso delle murature in lapideo, quando caratterizzato da materiali di grande compattezza e bassa porosità come i graniti, i basalti, i calcari compatti, molte trachiti e spesso anche lo scisto, l'intonaco che sul paramento murario svolge normalmente la funzione di "superficie di sacrificio", rappresenta, casi particolari a parte, generalmente una spesa superflua.

Dovendo proteggere la struttura dagli agenti di degrado oltre che fungere da supporto all'eventuale copertura pittorica che, a sua volta, svolge un ruolo protettivo oltre che decorativo, la struttura di questo componente diventa importante:

- nei supporti poco resistenti al degrado, quando quindi il materiale lapideo risulta poco compatto e soggetto ad assorbimento capillare da parte dell'acqua e a subire l'azione meccanica delle piogge violente o della grandine; è questo il caso di alcune tipologie di materiali lapidei porosi come le calcareniti e alcune trachiti;

- quando si vuole comunque pitturare l'edificio. Si potrebbe in questi casi lasciare comunque un basamento in pietra a vista al fine di rendere la struttura impervia all'acqua.

Negli altri casi la pietra garantirà una miglior durabilità evitando inoltre la formazione di muffe e muschi, formazioni vegetali tipicamente presenti nei supporti porosi, quali appunto sono gli intonaci.

L'efficacia e la loro capacità di resistere all'azione dell'ambiente circostante è legata alla qualità delle materie prime utilizzate ed alle tecniche di messa in opera. Gli intonaci devono avere una buona compatibilità di tipo meccanico, termico e igrometrico con il supporto. I parametri che qualificano un intonaco quindi sono: la natura del legante (o dei leganti se si tratta di malte bastarde) e il suo dosaggio, la natura dell'aggregato, la sua quantità e la granulometria.

Il legante tradizionale, usato fin dall'antichità più remota, è la calce aerea. Questo legante presenta diversi vantaggi: consente una buona permeabilità al vapore acqueo, una buona deformabilità rispetto alle sollecitazioni termiche e non risulta particolarmente sensibile alle variazioni di umidità relativa dell'aria. Lo svantaggio maggiore è legato alla sua scarsa capacità di resistere all'azione dell'acqua. Un buon intonaco a calce richiede quindi una buona mano d'opera per far aderire la malta quanto più possibile al supporto che deve essere esente da umidità permanente ed essere adeguatamente protetto dalle piogge battenti.

Un grassello adeguatamente stagionato si comporterà meglio rispetto alla calce idrata in polvere dispersa in acqua all'atto dell'utilizzo. L'uso di calce idraulica insieme alla calce aerea può essere necessario nei casi in cui si debba conferire all'intonaco una migliore resistenza all'acqua.

L'utilizzo di leganti a base cementizia è in generale sconsigliabile, oltreché superfluo visto che non sono necessarie prestazioni meccaniche particolarmente elevate, dato il rilevante apporto di sali solubili e le conseguenti azioni di degrado che ne possono conseguire con la loro mobilitazione.

3.3. I LATERIZI (TEGOLE E MATTONI)

Anche la produzione del laterizio ed in particolare delle tegole vede la presenza sul territorio di una serie di piccoli forni come nel caso della calce. La documentazione esistente ed anche le testimonianze relative, sono minori rispetto a quelle relative alla calce, nonostante ci sia stata certamente una diffusione capillare su tutto il territorio isolano.

Questo fatto è probabilmente da ascriversi allo scarso rilievo che le comunità hanno dato a queste strutture che, nella maggior parte dei casi, sono "scomparse" a causa dello sviluppo urbanistico.

L'utilizzo del "coppo sardo" deve considerarsi un denominatore comune a tutti i Centri Storici. Le Figure 3.9a, 3.9b, 3.9c, 3.9d, 3.9e, documentano la sua presenza in associazione a qualunque tipologia di pietra. Riscontri analoghi si hanno anche nelle costruzioni in terra cruda. (Figura 3.10)

La disponibilità di materie prime di basso costo e di grande diffusione come le "terre" argillose, la semplice tecnologia e le conoscenze acquisite

Fig 3.9.a, 3.9b, 3.9c. Tetti in coppo associati a diverse tipologie di materiale lapideo.

Fig 3.9d, 3.9e. Tetti in coppo associati a diverse tipologie di materiale lapideo.

Fig 3.10. Tetto in coppo associato ad una costruzione in terra cruda.

Fig 3.11.a. Forno per tegole a Segariu. Recente ricostruzione. Imboccatura per l'introduzione del combustibile.

nei secoli, hanno consentito a pochi artigiani di soddisfare le esigenze di intere comunità. In altri casi, per produzioni maggiori veniva coinvolta, nel tempo libero durante le stagioni più propizia dal punto di vista climatico, tutta la mano d'opera disponibile nel luogo.

Dice Vittorio Angius parlando di Silì:

> *" De' duecento uomini abili a lavorare, quasi tutti sono occupati nell'agricoltura, che è la professione generale, perché i mestieri sono due o tre. La fabbricazione di mattoni e tegole, che è molto operosa in questo paese per lo smercio che se ne fa in tutto il Campidano oristanese, si esercita dagli stessi contadini nella primavera ed estate, occupando in questo il tempo che resta loro dalle fatiche agrarie".*

E ancora su Oliena parlando delle professioni locali e su Gairo per quanto riguarda la qualità delle materie prime:

> *"…infine i fabbricatori di tevoli e mattoni."*
>
> *"Non mancano in questo territorio le terre buone per stoviglie tegoli e mattoni".*

Visto l'esiguo numero di informazioni disponibili, anche in questo caso, come per la calce, sarebbe quanto mai utile approfondire queste conoscenze sempre attraverso l'importante ausilio di toponimi quali: furru, forru, furraghe de teulas etc, al fine di poter individuare le aree in cui si utilizzavano i forni, come detto ormai rarissimi da ritrovare perché sovente distrutti dall'espansione dei paesi.

Nelle Figure 3.11a, 3.11b, sono mostrate alcune immagini di un forno di recente ricostruzione a Segariu, utilizzato per alcuni anni per dimostrazioni che riproducevano fedelmente le procedure adottate fino agli anni '50 per produrre le tegole. Secondo quanto raccontato da un "vecchio" tegolaio[8] della zona, il prodotto di Segariu veniva venduto anche nel nuorese.

A conferma delle problematiche legate alla loro conservazione, si può notare come il forno sia oggi totalmente occultato da erbe infestanti e praticamente abbandonato a se stesso.

La Figura 3.12, mostra gli attrezzi usati dal tegolaio per confezionare i coppi. Si possono notare lo stampo (*"su sestu"*) con annesso lo spago (*"sa seda"*) per rimuovere la tegola, e due forme in legno (*"sa fromma"*), per sagomare te tegole. Si racconta che prima dell'utilizzo della forma in legno, fosse la stessa gamba del tegolaio a determinarne la tipica curvatura del coppo. Questi stessi forni servivano probabilmente anche per la produzione di mattoni che, peraltro, vista la grande disponibilità della pietra, non hanno avuto un grande utilizzo quale materiale strutturale. Li ritroviamo presenti soprattutto sotto forma di finiture come, ad esempio, nei portali. (Figure 3.13a, 3.13b, 3.13c, 3.13d)

Fig 3.11.b. Forno per tegole a Segariu. Recente ricostruzione. Interno con alcune tegole rimaste dopo l'ultima dimostrazione.

Fig 3.12. L' "attrezzatura" per la preparazione delle tegole."Su sestu" (la cassaforma) con "sa seda" (lo spago per facilitarne la rimozione) e due antichi esemplari di "sa fromma " utilizzati per dare la tipica forma curva del coppo.

Fig 3.13.a. Utilizzo del mattone nella realizzazione dell'imbotte di alcuni portali.

Fig 3.13.b. Utilizzo del mattone nella realizzazione dell'imbotte di alcuni portali.

Fig 3.13.c. Utilizzo del mattone nella realizzazione dell'imbotte di alcuni portali.

Fig 3.13.d. Utilizzo del mattone nella realizzazione dell'imbotte di alcuni portali.

3.3.1 Preparazione e proprietà

Nonostante le realizzazioni della ceramica vascolare dimostrino una piena padronanza delle tecniche di foggiatura e di cottura delle terre argillose (realizzazione di grosse giare per l'accumulo di derrate alimentari), nella pre/proto-storia della Sardegna non sembrano esserci riscontri legati all'utilizzo del mattone cotto e della tegola.

Le tegole in terracotta vennero utilizzate dai Greci, dagli Etruschi e dai Romani a partire dal VII–VI secolo a.C. mentre l'impiego del mattone cotto è, in Occidente, molto più tardo. Gli Etruschi lo ignorarono largamente pur realizzando anche ampi pannelli decorativi in terracotta mentre i Romani non ne fecero uso sistematico prima dell'epoca Imperiale. Per quanto attualmente noto, è ipotizzabile che l'utilizzo del mattone cotto e della tegola sia stata avviata in Sardegna col pieno sviluppo della civilizzazione Romana.

Le materie prima per ottenere i laterizi, attraverso un processo di cottura ad alta temperatura (900–1000°C), sono le argille (o le "terre" argillose).

Lo scopo del processo di cottura è quello di indurre trasformazioni irreversibili nei minerali argillosi in modo da consentire la formazione di nuovi composti stabili che conferiscano al manufatto resistenza meccanica e durabilità.

Le sostanziali differenze rispetto al prodotto non cotto sono quindi una resistenza meccanica di un ordine di grandezza più grande (da 2-3 MPa ai 25-40 circa) e soprattutto, pensando in particolare alle tegole, la loro capacità di resistere all'azione dell'acqua.

Le temperature sono quindi sostanzialmente simili a quelle che vengono utilizzate per la preparazione della calce e anche le caratteristiche dei forni erano sostanzialmente le stesse.

In generale lo schema di lavorazione dei laterizi, almeno a livello artigianale, prevede una serie di semplici operazioni quali: la scelta ed il mescolamento delle materie prime, la formatura, l'essiccamento e la cottura.

Queste ultime due fasi sono certamente le più delicate. Durante il processo di essiccamento si possono manifestare molti di quei difetti poi presenti nel prodotto finito quali, ad esempio, le fessurazioni che possono minare alla base le caratteristiche meccaniche del materiale.

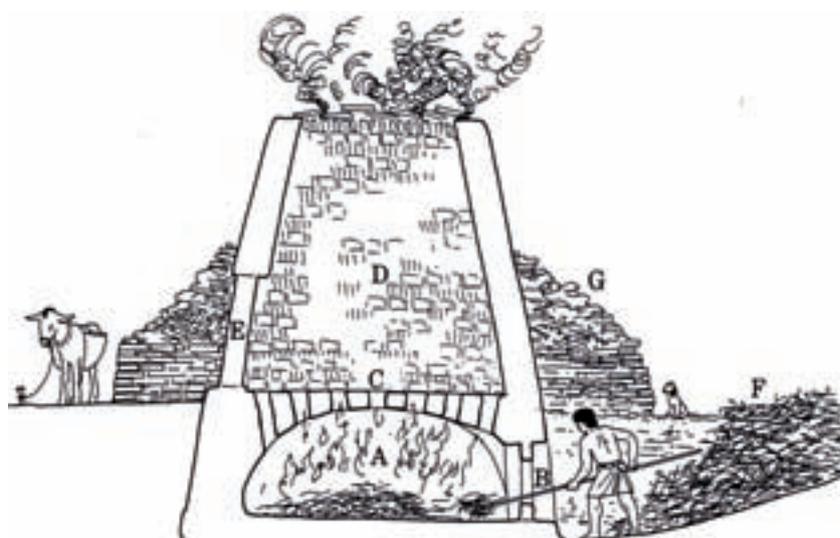



Fig 3.14. Tipico forno Romano per la cottura del laterizio. Immagine tratta da J-P. Adam, *L'arte del costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*, Longanesi, 2008.

Fig 3.15. Paglia setacciata utilizzata nel confezionamento delle tegole.

Per quanto riguarda le tegole, in alcuni casi è documentata l'aggiunta di fibre di paglia di piccole dimensioni, secondo una procedura analoga a quella seguita per il confezionamento dei mattoni crudi, i *ladiri*.

Nella Figura 3.15 viene riportata un'immagine della paglia setacciata per la produzione di tegole.

La cottura è indubbiamente l'operazione più importante perchè durante questo stadio vengono profondamente modificate le proprietà del materiale originario. Le particelle che prima della cottura, anche in un sistema fortemente compattato, risultavano legate debolmente fra loro, con l'aumentare della temperatura si saldano maggiormente grazie anche alla formazione di nuove fasi sia cristalline che amorfe.

Nel caso specifico, come si è detto a proposito della calce, la qualità delle materie prime i tempi di cottura (generalmente alcune ore), la natura del combustibile, associati alle specifiche competenze degli addetti ai lavori, portavano a prodotti di qualità differente.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] C. Atzeni, M.G. Cabiddu, L. Massidda, U. Sanna, *The use of "stabilized earth" in the conservation of megalithic monuments*, Conservation and Management of Archaeological Sites, 65-71, 1995.

[2] G. Pia, U. Sanna, N. Spanu, *I Materiali e l'Analisi delle Variabili del degrado del Nuraghe Is Paras (Isili, Sardegna)*, in atti 9° Convegno Nazionale AIMAT.

[3] V. Angius, *Città e villaggi della Sardegna dell'800. Riedizione dell'opera di G. Casalis: Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S.M. il Re di Sardegna*, Torino 1833-56. Ilisso, 2006

[4] A. Ferrero Della Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, Edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, 1868, Traduzione Canonico Spano, Edizioni Trois Cagliari.

[5] P. Carrus, *I maestri della pietra e delle antiche fornaci, in: Nurabolia – Narbolia, una villa di frontiera del Giudicato di Arborea*, a cura di R. Zucca, Grafiche Ed. Solinas, Nuoro 2005.

[6] J-P. Adam, *L'arte del costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*, Longanesi, 2008.

[7] *Norme Tecniche sulle costruzioni,* D.M. 14 Gennaio 2008.

[8] S. Cabras, *Comunicazione personale*, 2009.

capitolo 4

SOLLECITAZIONE DELL'AMBIENTE NATURALE ED ANTROPICO

4.1. DATI SUL CLIMA

Gli eventi meteorici quali le precipitazioni, le temperature minime ed in particolare la frequenza delle escursioni della temperatura nell'intorno di 0°C, l'umidità e le sue variazioni, la direzione e la forza dei venti e l'irraggiamento solare, possono avere una influenza sulla durabilità dei materiali sia diretta (dilavamento, formazione di ghiaccio, cristallizzazione salina, dilatazioni differenziali) sia indiretta, ad esempio attraverso l'insediamento di specie biologiche quali alghe, licheni, erbe e arbusti etc.

Eventi estremi localizzati, ma rari, quali le alluvioni, possono avere un ruolo determinate sul degrado delle strutture, in special modo per gli edifici realizzati interamente, o in parte, in terra cruda.

Gli eventi meteorici che caratterizzeremo in termini aerali possono poi ripercuotersi con modalità particolari su singoli edifici di uno specifico centro o su particolari parti di uno stesso edificio; queste analisi di dettaglio sono parte del "saper fare" degli specialisti della conservazione.

I dati di seguito riportati e commentati sono desunti dalle pubblicazioni on-line del Sardegna ARPA, dipartimento specialistico regionale idrometeoclimatico. (http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni), che conta su una rete di stazioni di rilevamento sull'intero territorio dell'Isola. I dati di seguito presentati si riferiscono alla media sul periodo 1951-1980 per le precipitazioni e le temperature, 1951-1993 per le altre grandezze. All'occorrenza, si consiglia di procedere all'aggiornamento dei dati facendo riferimento allo specifico sito di questa o di altre organizzazioni equivalenti.

È noto che attualmente il clima su scala globale ed i suoi effetti sono soggetti a modificazioni che vengono considerate "accelerate".

Le proiezioni a lungo termine continuano ad essere affette da grandi margini di incertezza. Per le specifiche applicazioni sugli effetti sui materiali degli edifici di interesse storico e culturale si segnala l'attività del progetto dell'UE Noah's Ark, i cui dati sono reperibili nel sito: http://noahsark.isac.cnr.it.

Tra il 1951 ed il 1980 la temperatura minima è scesa a -8÷-10°C numerose volte, ad esempio a Fonni nel febbraio del '56, ad Alà dei Sardi nel 1963, a Desulo nel gennaio del 1979.

Dal confronto dei dati climatici si osserva la definizione di un nucleo centro orientale, sull'asse Gennargentu-Limbara, nelle aree del granito e dello scisto, interessato dalle condizioni meteorologiche più drastiche.

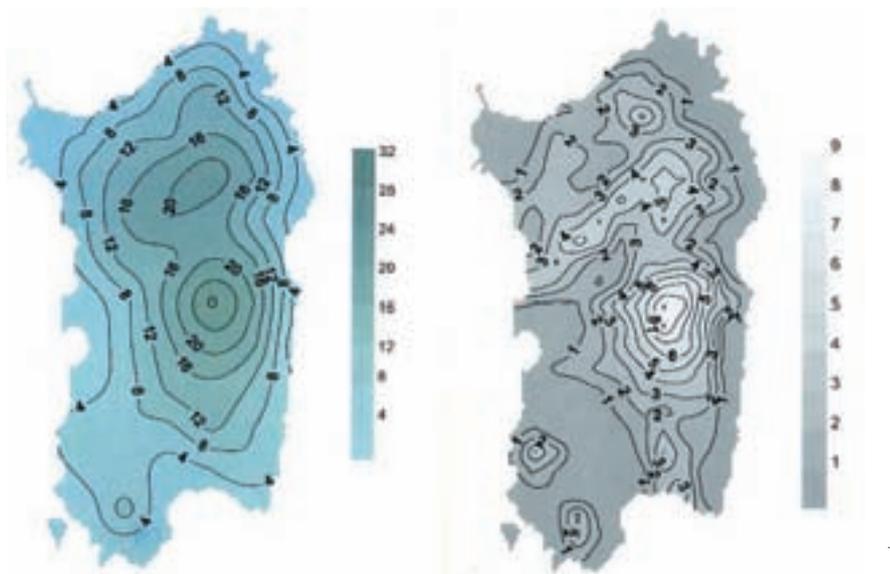



Fig 4.1. Numero di giorni con temperatura minima inferiore a 0°C, a sinistra, e con neve sul terreno, a destra (medie annuali, dati Sardegna ARPA).

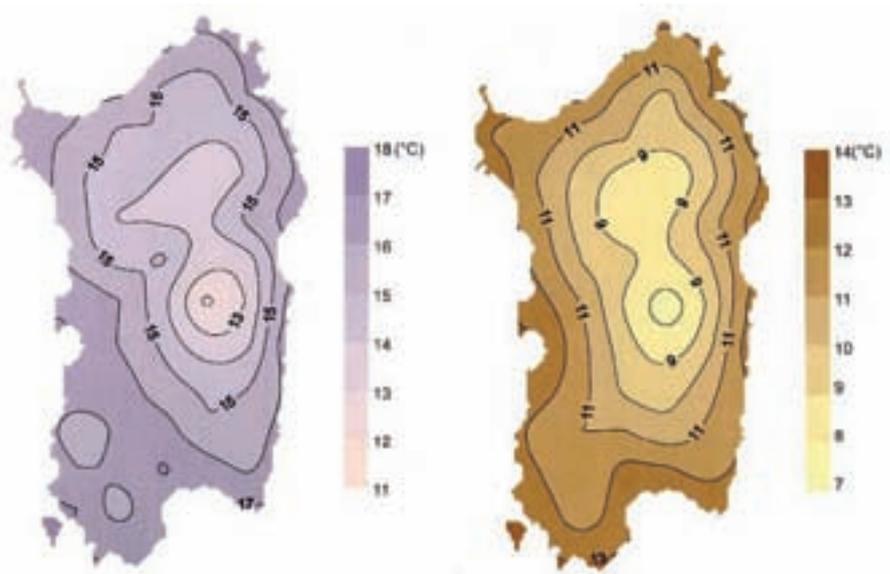



Fig 4.2. Temperatura media, a sinistra, e temperatura minima, a destra (medie annuali, dati Sardegna ARPA).

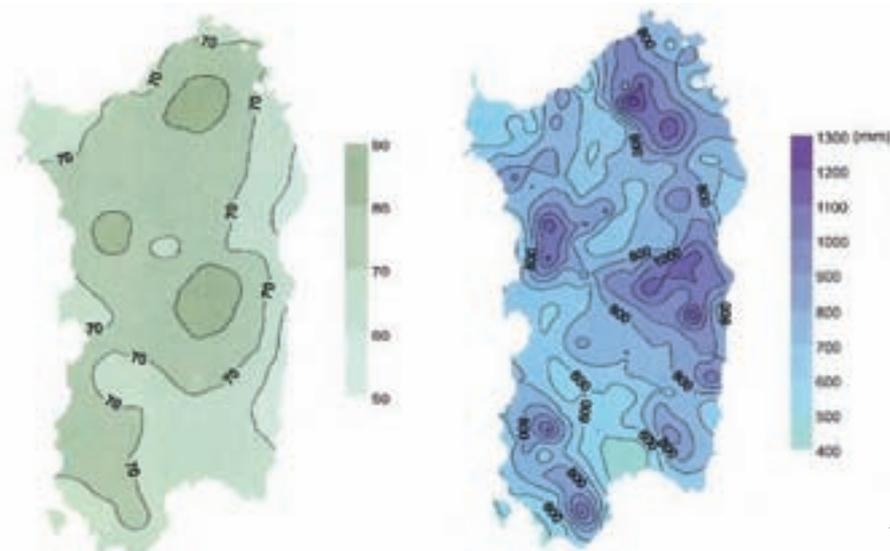



Fig 4.3. Numero di giorni con pioggia, a sinistra, e precipitazioni, a destra (medie annuali, dati Sardegna ARPA).

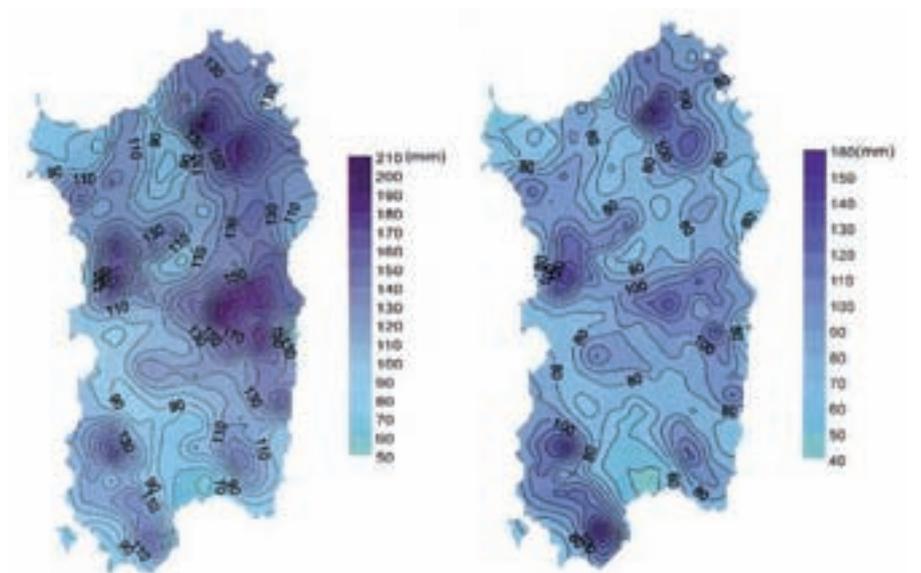



Fig 4.4. Precipitazioni nei mesi dicembre (medie annuali, dati Sardegna ARPA).

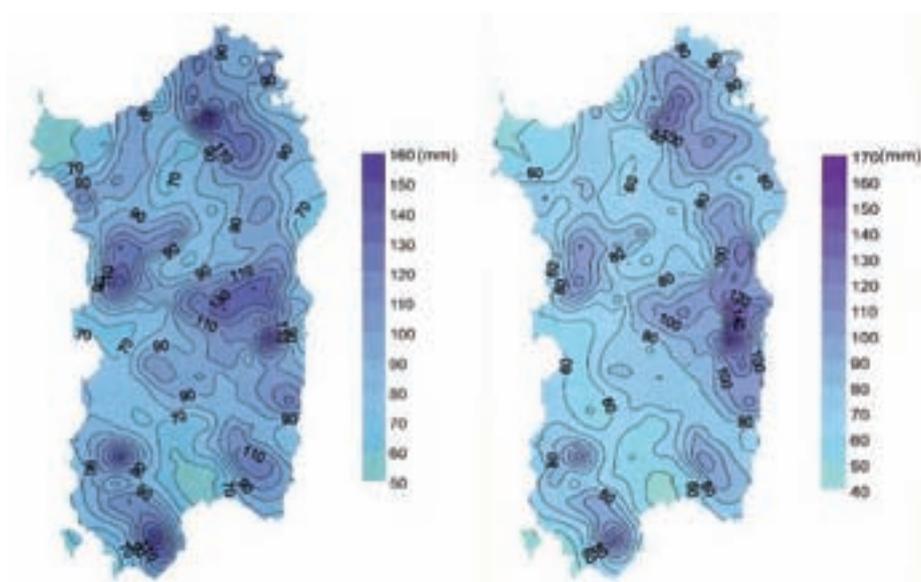



Fig 4.5. Precipitazioni nei mesi di marzo (medie annuali, dati Sardegna ARPA).

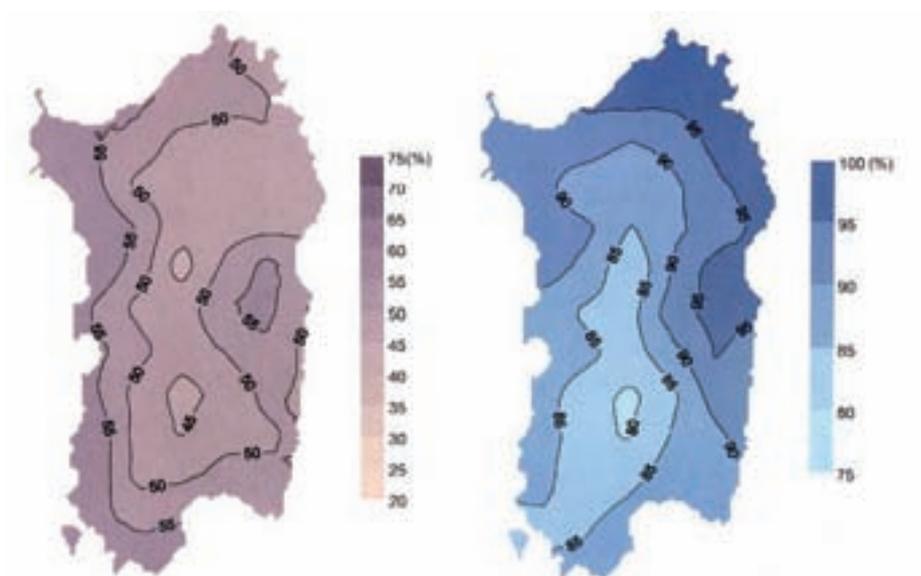



Fig 4.6. Media annuale dell'umidità relativa minima (a sinistra) e massima (a destra) (dati Sardegna ARPA).

4.2. ENTITÀ DEI FENOMENI DI INQUINAMENTO

L'incidenza dei fenomeni di inquinamento sui materiali dei centri storici, oggetto di questa trattazione, è da considerarsi trascurabile non essendoci alcuno studio specifico a riguardo che confermi tale incidenza. A solo titolo di esempio si può dire che dai dati ricavati sui materiali utilizzati nel sito archeologico di Nora (materiale litico, intonaci, malte, laterizi) in prossimità di Sarroch, non sono emersi influssi relativi all'attività industriale presente nella zona.

Per quanto concerne gli effetti della circolazione atmosferica su vasta scala, ciascuna regione è potenzialmente interessata a sorgenti di inquinamento sia locali che di carattere più ampio. Le fonti dell'inquinamento sono legate alle attività industriali, agli impianti di riscaldamento, ai mezzi di trasporto.

La Sardegna ha sviluppato numerosi poli industriali a partire dagli anni '60 del secolo scorso; in precedenza le attività industriali potenzialmente inquinanti concernevano poche lavorazioni, ad esempio il trattamento dei minerali metalliferi a Monteponi, a Dosmusnovas, a Montevecchio, etc, o, a partire dal 1930 agli impianti di trattamento dei minerali solforosi nella fonderia di San Gavino. Per quanto concerne le attività comportanti emissioni in atmosfera si segnalano la raffinazione di petrolio a Sarroch, le industrie petrolchimiche a Sarroch, Assemini, Villacidro, Portotorres, Ottana, l'industria metallurgica (allumina, alluminio, zinco, piombo) a Portovesme ed a San Gavino, la miniacciaieria elettrica a Cagliari, le cementerie a Samatzai, a Siniscola ed a Sassari, la produzione di calce a Nuramis, le industrie di laterizi a Porto Torres e Guspini, le centrali termoelettriche ad Assemini, Portoscuso, Porto Torres, Sarroch e Ottana.

Attualmente tutte queste attività, con l'eccezione della raffinazione a Sarroch, della produzione di leganti a Samatzai e Nuraminis e delle centrali elettriche, hanno attività fortemente ridimensionate per fenomeni di crisi sia specifica che globale e quindi le loro emissioni in atmosfera sono praticamente trascurabili.

Si riportano nella tabella 4.1 alcuni dati sui valori di inquinamento medio annuo rilevati in alcune stazioni dell'isola (anno 2007) (dati desunti dalle pubblicazioni on-line dell'Assessorato Regionale dell'Ambiente www.regionesardegna.it/regione/assessorati/ambiente); tutti i dati sono espressi in $\mu g/m^3$.

Tabella 4.1 Alcuni dati sui valori di inquinamento medio annuo rilevati in alcune stazioni dell'isola nell'anno 2007.

Zona	**C_6H_6**	**CO**	**H_2S**	**NMHC**	**NO_2**	**PM10**	**SO_2**
Assemini		0.3		202.5	16.5	32.5	20.4
Sarroch	1.1	0.4	1.0		17.9	26.7	14.7
Oristano		0.4		256.9	20.7	26.7	0.9
Sassari		0.4		0.5	24.3	35.6	2.6
Porto Torres		0.2			13.7	31.0	4.0
Nuoro	1.5	1.4			26.4	15.2	6.2
Ottana	0.4	1.0			10.5		9.4

C_6H_6= benzene; CO= monossido di carbonio; H_2S: idrogeno solforato; NMHC= composti organici volatili non metanici; NO_2= biossido di azoto; PM10= polveri sottili < 10 μm; SO_2= biossido di zolfo.

4.3. LO SPOPOLAMENTO, L'ABBANDONO E L'ASSENZA DI MANUTENZIONE

Probabilmente le cause principali della rovina o della perdita di autenticità delle costruzioni non sono tanto legate al comportamento del materiale originale in se o all'aggressività ambientale (nè le condizioni climatiche nè l'inquinamento sono reali problemi nel contesto dei paesi della Sardegna), quanto piuttosto all'abbandono e quindi alla mancanza di ordinaria manutenzione o all'intrusione di nuovi materiali nel contesto tradizionale.

Per quanto concerne la dimensione del fenomeno dello spopolamento, la Tabella 4.2 riporta i dati pertinenti le popolazioni di alcuni paesi della Sardegna centrale. Alcuni centri presentavano nel 2001 un numero di abitanti inferiore a quello riscontrato nel censimento del 1863. Di particolare interesse è poi il rapporto tra il numero delle abitazioni e quello delle famiglie censite. Emerge chiaramente che un numero rilevante di costruzioni non risulta più occupato e quindi neppure curato.

Tabella 4.2 Centri della Sardegna centrale afflitti da spopolamento (dati dei censimenti ufficiali http://www.comuni-italiani.it)

Comune	Abitanti 2001	Abitanti 1863	n. di famiglie	n. di case	% case non occupate
Aritzo	1544	1938	564	907	38
Austis	959	655	391	581	33
Barisardo	3871	1523	1453	2317	37
Baunei	3886	1780	1472	2457	40
Belvì	741	778	255	367	29
Dorgali	8190	3788	2844	5831	51
Ierzu	3352	2033	1374	2154	36
Lula	1657	1343	655	940	30
Olzai	1046	1172	393	582	32
Onani	473	217	159	225	29
Orosei	5870	1786	2057	4001	49
Osini	947	641	436	750	42
Seui	1587	1911	672	1072	37
Seulo	1023	714	448	654	31
Siniscola	10954	2622	4085	6800	40
Sorgono	1949	1556	719	1093	34

capitolo 5 IL DEGRADO NATURALE ED ANTROPICO

Tutti i materiali hanno la tendenza a raggiungere una condizione di equilibrio termodinamico con l'ambiente circostante subendo una progressiva e irreversibile modifica delle loro caratteristiche microstrutturali e spesso quindi anche delle loro proprietà.

Un cambiamento dei parametri ambientali (temperatura, umidità, inquinamento, etc.), sia a scala locale che globale, determina una modifica di questo equilibrio con conseguenti nuovi processi di adattamento e quindi nuove trasformazioni che possono portare a delle "semplici" alterazioni, non necessariamente peggiorative, o ad un vero e proprio degrado.

Nel caso di strutture facenti parti dei Centri Storici, oltre alle cause "naturali", è opportuno considerare anche quegli effetti creati dall'intervento dell'uomo, anche se spesso in assoluta buona fede.

Si può anzi dire che in ambienti con un bassissimo tasso di inquinamento, quale quello dei centri minori dell'Isola e in presenza di strutture e di materiali mediamente molto resistenti, quello antropico può rappresentare il vero problema se si considera ad esempio, come causa di degrado, anche la mancanza di manutenzione o peggio l'abbandono.

Questi effetti hanno poi un effetto sinergico se associati alle avverse condizioni ambientali. Ad esempio, un carente sistema di raccolta e convogliamento delle acque meteoriche, in presenza di piogge incessanti, potrà dare origine ad una maggiore possibilità di assorbimento d'acqua da parte delle strutture con conseguente maggiore proliferazione di erbe infestanti e con potenziali danni legati a fenomeni come la gelività o la cristallizzazione salina.

Le considerazioni che seguiranno hanno l'obiettivo di dare un peso a questi fattori cui si farà riferimento nelle considerazioni conclusive per delineare quelle che possono essere le buone pratiche per un corretto intervento conservativo.

Fig 5. Degrado biologico su una muratura in granito.

5.1. IL DEGRADO NATURALE

5.1.1 Il ruolo dell'acqua

La molecola dell'acqua è caratterizzata da un dipolo elettrico e questo le conferisce una forte affinità solvente nei confronti di larga parte dei materiali da costruzione. Inoltre è largamente diffusa sotto forma di: pioggia, neve, condensa, umidità del terreno, aerosol marino etc., e interessata a passaggi di stato, in particolare quello liquido-solido, in un intervallo di temperatura "ordinario".

E' anche soggetta ad evaporazione particolarmente in ambienti ventilati e caldi. La sua presenza è inoltre un importante fattore per lo sviluppo dell'attività biologica ed infine può partecipare direttamente anche come reagente ad alcune pericolose reazioni.

Il ruolo dell'acqua si può dire quindi, sia sempre determinante per le problematiche di degrado dei materiali.

Molto significativo è il quadro visionario di quanto accadrebbe nel "Mondo senza di noi", tratteggiato da Weisman (2008)[1]:

> *"Il giorno dopo la scomparsa degli umani, la natura prende il sopravvento e comincia immediatamente a far pulizia in casa - o meglio, a far pulizia delle case. Le spazza via dalla faccia della Terra. Tutte.*
> *Se siete proprietari della vostra abitazione, sapevate già che era solo questione di tempo, ma facevate fatica ad ammetterlo, anche quando l'erosione intaccava impietosa, a cominciare dai vostri risparmi. Quando vi hanno detto quanto sarebbe costata la vostra casa, nessuno ha accennato a quanto avreste speso per evitare che la natura se ne reimpossessasse prima della banca.*
> *Anche se vivete in un lotto di terreno postmoderno, snaturato, dove pesanti macchinari hanno triturato il paesaggio costringendolo a sottomettersi, rimpiazzando la riottosa flora indigena con un obbediente tappeto erboso e una vegetazione uniforme, e lastricando gli acquitrini nel santo nome della lotta alle zanzare, anche in questo caso, sapete che la natura non si è lasciata intimidire. …*
> *Ma soprattutto siete assediati da quella che in altri contesti è la base stessa della vita: l'acqua. Vuole sempre entrare.*
> *Dopo la nostra scomparsa, la vendetta della natura sulla nostra tronfia superiorità meccanizzata inizia per mezzo dell'acqua."*

L'acqua non è mai pura ed anche negli ambienti non inquinati, ha un pH che non è quello della neutralità (7), ma circa 5.8 (quindi acido), contenendo in soluzione anidride carbonica. E' questo un componente del tutto naturale dell'aria, ma attualmente presente nell'atmosfera in una concentrazione media di 380 ppm, che non era mai stata raggiunta negli ultimi 800.000 anni.

Questo aspetto non è indifferente nei confronti di alcuni materiali particolarmente sensibili a queste condizioni di particolare aggressività quali, ad esempio, quelli caratterizzati dalla presenza di carbonato di calcio come i calcari, i marmi, diverse arenarie, gli intonaci e le malte di

calce e taluni calcestruzzi. A temperatura ambiente il carbonato di calcio è poco solubile nell'acqua pura (0.02 g/litro), ma lo diventa apprezzabilmente (1 g/litro) se questa contiene in soluzione anidride carbonica per effetto della reazione:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

(carbonato di calcio) (carbonato acido di calcio)

La posizione di questo equilibrio è tanto più spostata verso destra quanto maggiore è il contenuto dell'anidride carbonica nell'atmosfera e quindi in soluzione.

I fenomeni di dissoluzione sono evidenti in particolar modo nelle zone ad alto tasso di insediamento industriale e nei grossi centri urbani dove l'inquinamento legato al traffico autoveicolare ed al riscaldamento, ha aumentato a dismisura anche la presenza di altri gas acidi nell'atmosfera, in particolare gli ossidi di zolfo (SO_2 ed SO_3) e di azoto (genericamente indicati come NO_x). Le cosiddette "piogge acide", a pH 4–5, possono portare alla dissoluzione persino delle fasi più resistenti di molti materiali da costruzione come pietre, laterizi o malte.

La presenza in particolare degli ossidi di zolfo nell'atmosfera, è responsabile della formazione delle cosiddette "croste nere", generalmente a spese dei materiali di natura calcarea.

La componente gessosa (bianca) di queste neo formazioni è associata a idrocarburi e carbone residui della combustione ed a particelle minerali dei suoli derivanti dal trasporto eolico (quarzo, feldspati, ossidi, etc.).

Fig 5.1. Croste nere su pietre carbonatiche nel centro storico di Cagliari.

Nella Figura 5.1, viene riportata una significativa immagine con croste nere alternate a zone chiare soggette al ruscellamento delle acque piovane.

Fortunatamente da questi fenomeni è esclusa la maggior parte dei centri minori dell'Isola.

Oltre alle azioni di natura chimica, sono da considerarsi pericolose anche le azioni meccaniche dovute alle acque meteoriche come le piogge battenti o la grandine (specialmente se associate a forti venti) che possono provocare fenomeni quali erosioni e disgregazioni.

Materiali caratterizzati da componenti di diversa porosità e durezza superficiale oltrechè differenti per natura chimica e mineralogica, sono soggetti in genere ad una abrasione "selettiva"; la superficie del materiale si presenterà così alveolizzata e rugosa.

Anche la coesione delle particelle che costituiscono il lapideo è un parametro determinante in questo processo. I materiali di origine sedimentaria caratterizzati da limitate frazioni di matrice legante (come alcune arenarie) sono più soggetti ai fenomeni di distacco delle singole particelle dalla matrice.

La presenza dell'acqua favorisce anche l'attività biotica come la crescita di alghe, muschi, licheni, erbe e piante superiori. Oltre ad essere antiestetiche (Figura 5.2), queste specie vegetali possono dare origine ad ulteriori forme di deterioramento dei materiali in opera sia di natura fisica (espansioni e contrazioni degli apparati radicali) che chimica, legata a processi nutritivi e metabolici di microrganismi, con produzione di acidi (sia organici che inorganici), soprattutto se già disaggregati in superficie e cronicamente umidi.

A taluni di questi organismi quali i licheni viene riconosciuta in ecologia il ruolo di colonizzatori/demolitori delle rocce, non in tempi storici ma geologici, e quindi di creatori di suoli sui quali possono successivamente instaurarsi altre specie più esigenti.

Sulla cinetica e sulla pericolosità di questi processi è opportuno evitare peraltro troppe generalizzazioni. Gli stessi licheni presenti sui Nuraghi, a detta di alcuni studiosi, sembrano addirittura svolgere un ruolo protettivo nei confronti della pietra sottostante.

Nella Figura 5.3 viene riportata un'immagine riguardante la tipica presenza di licheni su una costruzione nuragica.

5.1.2 I fenomeni espansivi. Gelività e cristallizzazione salina

Nelle regioni il cui clima è caratterizzato da frequenti escursioni di temperatura intorno a 0°C, l'alternanza dei cicli di gelo e disgelo dell'acqua che eventualmente imbibisce i materiali porosi, è certamente una delle principali cause di degrado di sistemi quali i laterizi, le pietre poco compatte, gli intonaci. Gli effetti si manifestano con polverizzazioni e distacchi inizialmente in prossimità della superficie, per poi gradualmente proseguire nelle zone più interne del materiale.

Quando l'acqua congela in un volume confinato, si sviluppano pressioni elevatissime sulle pareti di contenimento. Da una prima semplice analisi il fenomeno può essere spiegato con l'aumento di volume pari a circa il 9%, che si ha nella transizione liquido-solido. Da qui il concetto di "grado di saturazione critico", inteso come rapporto tra la quantità di acqua assorbita la cui variazione di volume supera il volume a disposizione del materiale.

Fig 5.2. Esempi di colonizzazione biologica delle superfici.

Fig 5.3. Colonizzazione lichenica sul Nuraghe Arrubiu di Sardara.

Tale valore indicato con v_c (percentuale in volume di riempimento dei pori) può esprimersi come: $v_c + 0.09\ v_c = 100$ da cui risulta che $v_c = 100/1.09 = 91.7\%$.
In realtà il meccanismo della gelifrazione non è stato ancora completamente chiarito in termini quantitativi specialmente per quanto attiene i materiali microporosi. In questi il ghiaccio comincia a formarsi dall'acqua contenuta nei pori di maggiore dimensione e pone in pressione il liquido nei pori di dimensione minore che trova un ostacolo al suo spostamento in relazione alla permeabilità più o meno alta della microstruttura. Inoltre l'acqua residua si ritrova arricchita nel suo contenuto salino, per cui potrebbero entrare in gioco anche pressioni osmotiche. I diversi parametri di cui bisognerebbe tenere conto sono moltissimi e permangono numerose le teorie definite negli ultimi anni per spiegare i dettagli del meccanismo di degrado senza peraltro che si sia ancora arrivati ad una soluzione condivisa da tutti.
Le risultanze empiriche ed alcune considerazioni teoriche portano comunque a concludere che il degrado connesso alla formazione del ghiaccio è maggiore nei materiali nei quali la frazione volumica dei pori è compresa tra 0.1÷0.5 e 2÷3 micrometri. Microstrutture con pori di diametro prevalentemente superiore ai 3 μm sono sostanzialmente immuni.
Oltre ai possibili fenomeni di degrado prodotti dalla transizione liquido-solido, la presenza di acqua all'interno di un materiale poroso può dare origine ad una serie di altri pericolosi inconvenienti dovuti alla transizione liquido-vapore, ed alla presenza in soluzione acquosa di sali solubili che possono provenire sia dal terreno attraverso l'assorbimento capillare, che dalle stesse materie prime come le argille utilizzate per la produzione di laterizi o di cemento.
L'acqua infatti all'interno delle murature o circolante nei terreni, è sempre presente sotto forma di soluzione salina da cui possono separarsi, quando si raggiungono i limiti di solubilità, sali (anidri o idrati) che possono provocare danni ai materiali, non soltanto estetici come le efflorescenze che si manifestano sulla superficie, ma talvolta molto più gravi ed irreparabili come le subflorescenze non visibili perchè si sviluppano all'interno della matrice porosa.
Le prime si formano in ambienti a lento ricambio d'aria, che consentono al sale di essere veicolato dall'acqua fino alla superficie dove poi cristallizza, dando origine a quelle tipiche macchie bianche spesso visibili sulle murature.

Le subflorescenze si formano quando viceversa l'ambiente è fortemente ventilato (e con relativamente bassa umidità relativa) con conseguente rapida evaporazione dell'acqua che non riesce a trascinare con se i sali che quindi cristallizzano all'interno della matrice porosa. Accumulandosi progressivamente nei pori, questi sali possono sviluppare pressioni tali da portare al progressivo deterioramento della superficie del materiale, per poi progredire col tempo verso le parti più interne.

La variabilità locale delle condizioni termoigrometriche non consente generalmente di considerare caratteristico il solo fenomeno dell'efflorescenza o quello della subflorescenza, che possono quindi anche alternarsi portando comunque a condizioni di degrado.

Anche la trattazione teorica e quantitativa di questi fenomeni, come già visto per la gelività, è complessa e comunque tale da non aver ancora portato a conclusioni accettabili. Nella pratica il fenomeno è comunque

sufficientemente noto e prevedibile nei suoi aspetti qualitativi.

Alcuni materiali naturali sono soggetti a rigonfiare se imbibiti d'acqua. E' il caso, ad esempio delle marne che presentano una significativa frazione di minerali argillosi la cui presenza, come prodotto di alterazione nella scala dei tempi geologici di rocce di origine vulcanica o come componente anche di strati specifici come nel caso delle rocce sedimentarie, è una causa estremamente importante di micro sollecitazioni che, nel tempo, possono portare a polverizzazioni e desquamazioni nel materiale.

5.1.3 La dilatazione termica differenziale

Un'ulteriore causa di degrado è legato alla diversa capacità che hanno i materiali di modificare le loro dimensioni al cambiare della temperatura.

Questo effetto è sopratutto importante quando, in fase di progettazione, è necessario accoppiare materiali diversi. Queste problematiche si possono manifestare anche all'interno di un singolo materiale, come nel caso di alcuni lapidei, dove gli sbalzi termici possono provocare espansioni e contrazioni differenziate tra i diversi minerali che compongono la roccia (ad esempio i graniti).

Analogo comportamento si verifica anche in alcune rocce caratterizzate da un'unica tipologia di minerale quali i marmi, dove i cristalli di calcite sono caratterizzati da coefficienti di dilatazione lineare differenti nelle due direzioni ortogonali.

Dati i generali bassi valori di conducibilità termica dei lapidei, la superficie esterna tenderà ad assorbire una maggiore quantità di calore rispetto agli strati di materiale immediatamente sottostanti. Ai gradienti di temperatura che si vengono così ad instaurare, sono associati processi di dilatazione e di contrazione del materiale, di intensità variabile dalla superficie verso l'interno, capaci di creare sollecitazioni di taglio che, se ripetuti, possono portare al distacco di materiale in forma di scagliature (in particolare in quelle rocce di natura sedimentaria caratterizzate da piani di discontinuità), esfoliazioni o disgregazioni.

Altri parametri importanti sono: la frequenza e la rapidità delle oscillazioni, la presenza nel materiale di punti di discontinuità e le microfessurazioni. Le simulazioni accelerate effettuate in laboratorio indicano peraltro che, in assenza di acqua, le sole escursioni termiche agiscono solo modestamente come causa di degrado.

In talune matrici porose si osserva che l'acqua allo stato liquido può lentamente essere assorbita per capillarità, ma incontra una forte resistenza idrodinamica ad uscire sotto la sollecitazione di un aumento della temperatura relativamente veloce, quale quello che si può avere nel giro di alcune ore in conseguenza al passaggio dalla condizione di ombra a quella di esposizione diretta al sole.

Essendo il coefficiente di dilatazione del liquido superiore a quello della matrice materiale, si sviluppano dilatazioni e pressioni interne, che vengono lentamente ricuperate man mano che l'acqua riesce a permeare, ma il cui sistematico succedersi può portare ad un accumulo di microlesioni ed infine ad una macroscopica manifestazione di distacco di scaglie dalle superfici.

5.1.4 Il degrado sui materiali in opera e gli effetti sulle strutture

La particolare situazione dei Centri Storici della Sardegna, come detto poco interessati ad intensi traffici autoveicolari e poco soggetti a particolari forme di inquinamento, associata alla generale grande compattezza di gran parte dei materiali litoidi (presupponendo quindi anche una discreta impermeabilità ed escludendo o limitando fenomeni come la risalita capillare), fanno circoscrivere le problematiche relative al degrado naturale a pochi casi specifici: la crescita delle erbe infestanti sulle malte di terra e il deterioramento dei materiali più porosi ad opera dell'azione fisico-meccanica delle acque. Nelle zone più rigide dal punto di vista climatico si possono avere anche fenomeni di scagliature causate dal gelo, ma in associazione a questo parametro (bassa temperatura), deve essere presente anche una adeguata porosità del materiale, come detto, non usuale.

La ricorrente presenza della terra tra i conci quale materiale di allettamento in diverse tipologie di lapideo e la sua capacità di assorbire acqua, agevola la crescita della vegetazione infestante. (Figure 5.4a, 5.4b, 5.4c, 5.4d)

Fig 5.4.a, 5.4b. Degrado biologico legato alla crescita di vegetazione infestante nella malta di terra.

Nella pagina accanto:

Fig 5.7a. Muratura “sana” in granito.

Fig 5.4.c, 5.4d. Degrado biologico legato alla crescita di vegetazione infestante nella malta di terra.

Fig 5.5. Degrado di alcuni conci di trachite per fenomeni di attacco meccanico da parte delle acque meteoriche

Fig 5.6. Effetti legati all’azione meccanica delle acque meteoriche su alcuni conci in calcarenite.

Fig 5.7b. Muratura "sana" in basalto.

Come verrà meglio esplicitato nelle conclusioni, una regolare manutenzione legata ad una costante rimozione di questa vegetazione e ad una accurata riproposizione della malta di terra, potrà ridurre i danni legati soprattutto agli apparati radicali e migliorare conseguentemente anche l'estetica della struttura.

I lapidei più soggetti ai fenomeni di aggressione meteorica, sono alcune tipologie di materiale calcareo (come le calcareniti, Figura 5.5) e alcune trachiti (Figura 5.6). L'azione meccanica porta a perdita di materiale con conseguenti fenomeni di polverizzazione e alveolizzazione.

Le strutture caratterizzate da materiali di bassa (o praticamente nulla) porosità quali il granito, il basalto, o certe tipologie di calcari e trachiti di grande compattezza, non sono soggette a questa tipologia di degrado, essendo capaci di resistere alle sollecitazioni meccaniche anche di eventi meteorici particolarmente violenti. Nella Figura 5.7 sono riportate alcune strutture in basalto e granito immuni da fenomeni di questo genere.

Nelle zone soggette a condizioni climatiche particolarmente rigide (con temperature che possono scendere sotto lo zero), si possono manifestare fenomeni di scagliatura conseguenti a cicli di gelo-disgelo.

Gli effetti sono comunque relativi e rimangono limitati alle sole parti corticali della muratura senza particolari conseguenze per la struttura.

La Figura 5.8 mostra una muratura in marna calcarea con evidenti alterazioni superficiali, da ascriversi alla gelività, senza che il paramento murario ne abbia peraltro risentito.

Fig 5.8. Conci in marna calcarea soggetti a fenomeni di scagliatura attribuibili a cicli di gelo-disgelo.

5.2. IL DEGRADO ANTROPICO

5.2.1 I moderni intrusi

Vengono definiti "intrusi" quei componenti della struttura inseriti nel contesto in tempi successivi all'edificazione e poco coerenti con i materiali originari. Possiamo classificare questi materiali in due famiglie. Alla prima appartengono tutti i sistemi che fanno utilizzo di cementi idraulici come fase legante (malte di allettamento, intonaci, blocchetti) in quanto il loro sviluppo, la loro produzione ed il loro impiego sono posteriori all'edificazione tradizionale dei Centri Storici dei paesi della Sardegna e che possono anche considerarsi, entro limiti che saranno discussi, poco compatibili anche dal punto di vista tecnico.

Alla seconda famiglia appartengono le pietre non locali quali, ad esempio, il basalto o il calcare (marmo) di Orosei, impiegati recentemente nella pavimentazione ed in generale nell'arredo degli spazi pubblici, o addirittura quelli di provenienza extraisolana: dal cotto fino al granito cinese. In questo ultimo caso, in particolare, non ci sono aspetti di incompatibilità tecnica, ma eventualmente di carattere culturale.

5.2.1.1 I materiali cementizi

Il materiale cementizio, nel contesto qui trattato, è un intruso sia dal punto di vista materico che rispetto alla tradizione e alla cultura locale. Il suo impiego inadatto non è certamente legato alle intrinseche proprietà meccaniche che lo caratterizzano e che anzi ne giustificano l'utilizzo diffuso nell'edilizia degli ultimi 50-60 anni, quanto in parte l'essere proprio un materiale "moderno" e quindi ben lontano da quelli tradizionali locali, oltre a essere causa diretta di degrado per effetto di alcuni suoi "difetti" intrinseci.

Nella moderna costruzione della muratura in pietra, la Normativa tecnica[2] (GU 29, 4-2-2008) non pone alcun limite all'impiego del cemento sia nella realizzazione delle malte che nel getto di cordoli nella muratura in pietra non squadrata (listato), e richiede in modo diretto i cordoli "di piano" in calcestruzzo armato per garantire il "comportamento scatolare" dell'edificio. Inoltre, il cemento continua ad essere impiegato persino nella prassi del restauro archeologico quanto altri materiali culturalmente incompatibili con la pietra quali le resine epossidiche o i perni metallici o gli impregnanti polimerici. Questo aspetto è un chiaro indicatore di come sia ancora lontana la consapevolezza dei problemi legati ad un utilizzo improprio di questi materiali quando associati ad altri di proprietà (e tradizioni) differenti.

Considerato il contesto culturale di riferimento e le caratteristiche del materiale in oggetto con la sua intrinseca pericolosità si può quindi affermare che l'uso dei moderni sistemi cementizi nei Centri Storici in oggetto sia generalmente da escludersi.

Una prima analisi è relativa ai ricorrenti fenomeni diffusi sui lapidei più porosi quali alcune trachiti, alcune marne e le calcareniti.

A contatto con l'acqua i materiali a base cemento sono in grado di mobilitare i sali solubili contenuti nelle materie prime di origine (argille ad esempio), con conseguenti pressioni di cristallizzazione che si instaurano quando si accumulano nei pori della pietra generando erosioni e distacchi di materiale.

Nelle immagini sotto riportate risultano evidenti i danni provocati dall'utilizzo di questi sistemi, nelle stilature fra i conci. (Figura 5.9a, 5.9b, 5.9c, 5.9d)

Nel caso delle stilature, queste malte sono a volte messe in risalto rispetto alla pietra. E' quest'ultima che deve viceversa "emergere" rispetto al materiale complementare che, sistemato tra i conci e quindi protetto, sarà meno soggetto anche a deteriorarsi. Nella Figura 5.10 viene illustrato un emblematico esempio di un paramento murario in parte caratterizzato da giunti di stilatura ben inseriti fra i conci ed in parte in risalto rispetto agli stessi.

Fig 5.9a, 5.9b. Degrado di murature dovuto alla presenza di malte cementizie.

Le riconosciute resistenze meccaniche dei cementi sono in questi casi assolutamente superflue. Quando inoltre vengono intonacate superfici di grande compattezza e bassa porosità, si manifestano frequenti distacchi legati alla difficoltà della malta di trovare appigli sufficienti. (Figura 5.11a, 5.11b)

Fig 5.9c, 5.9d. Degrado di murature dovuto alla presenza di malte cementizie.

Fig 5.10. Conci in granito nello stesso paramento murario con malta di terra (nella parte sinistra) e "degrado estetico" dovuto alla presenza di stilature in cemento in risalto rispetto alla pietra (nella parte destra).

Fig 5.11a, 5.11b. Distacco dell'intonaco in cemento da lapidei compatti.

In queste strutture la pietra è generalmente in grado di evitare anche la risalita capillare, mentre l'intonaco, poroso, quando a contatto diretto con il terreno, risulta caratterizzato da fenomeni di assorbimento d'acqua che facilitano il degrado biotico con formazione di muffe e muschi. Queste "protezioni" sono quindi addirittura inutili essendo la pietra capace di difendersi benissimo da se. (Figura 5.12)

A proposito ancora di sistemi cementizi, l'utilizzo improprio del blocchetto di cemento è stato, negli ultimi trenta-quaranta anni, così ricorrente con qualunque tipologia litoide, da potersi considerare come la più diffusa forma di degrado introdotta dall'uomo. Nelle Figure 5.13a, 5.13b, 5.13c, 5.13d, sono riportati alcuni esempi di associazione lapideo – blocchetto.

Decisamente anti-estetico e di scadente qualità, questo moderno prodotto dell'edilizia, ha il grande vantaggio di essere intrinsecamente economico e di potersi mettere in opera con grande facilità. Per questo motivo non si possono addebitare colpe a chi ne fa uso. La sempre più ridotta disponibilità del materiale lapideo ed il suo conseguente maggiore costo, rendono oggi il confronto improponibile. Ciò non significa che il suo uso indiscriminato non possa essere, in prospettiva, arginato ad esempio attraverso iniziative che agevolino il riutilizzo dei materiali originari. In quest'ottica, come sarà più dettagliatamente discusso nelle considerazioni riassuntive, un ruolo determinante potrà essere giocato dagli Enti Locali.

Per limitare gli effetti legati a queste presenze, anche una semplice operazione di intonacatura (qui doverosa) e successiva pitturazione, potrebbe cambiare la fisionomia dell'edificio.

Fig 5.12. Confronto fra il degrado biotico dovuto alla presenza di muffe causato dalla risalita capillare dell'acqua sull'intonaco, e la muratura in pietra sana.

Fig 5.13.a, 5.13b, 5.13c.(in questa pagina) 5.13d. (nella pagina accanto). Utilizzo del blocchetto di cemento associato a diverse tipologie di lapideo.

Fig 5.14. Pavimentazione in cotto con evidenti effetti negativi (efflorescenze saline) legati presumibilmente alla presenza di sali solubili nelle argille di provenienza.

Altrevolte negli elementi di arredo urbano, si sono verificate intrusioni di materiali poco coerenti con quelli tradizionali (Figura 5.14), cui sono riconducibili alcune forme di degrado.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] A. Weisman, *Il mondo senza di noi*, Einaudi, 17-18, 2008,.

[2] Normativa tecnica (GU 29, 4-2-2008).

capitolo 6 CARATTERIZZAZIONE, DIAGNOSTICA E NORMATIVA

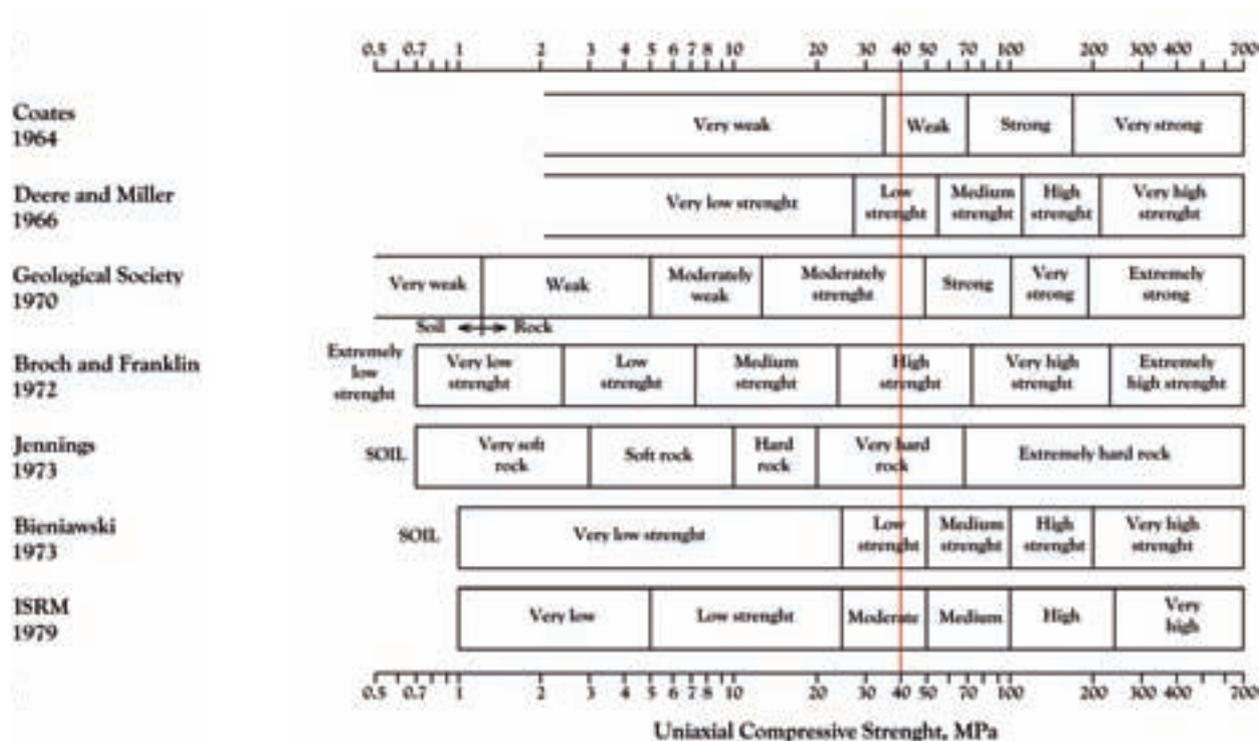
6.1. CARATTERIZZAZIONE

6.1.1 Proprietà meccaniche

Generalmente le specifiche tecniche dei materiali utilizzati nelle costruzioni a fini strutturali o portanti pongono la resistenza a compressione come dato primario. Nel seguito sarà subito evidente che i dati di resistenza a compressione indicano comunque che siamo in presenza di materiali che, di per sé, sono largamente sovraresistenti rispetto alle esigenze costruttive degli edifici oggetto di questa trattazione. Estremamente indicativo è il fatto che lo spessore dei muri portanti delle case in ladiri era generalmente minore di quello delle case in pietra, nonostante i valori nettamente inferiori della resistenza a compressione intrinseca dei materiali.

Alti valori di resistenza a compressione sono in generale anche un'efficace indice di altre proprietà quali la bassa porosità e la durabilità (capacità del materiale di resistere nel tempo all'azione dell'ambiente circostante) in quanto tutte queste caratteristiche sono connesse alla "compattezza" microstrutturale. La resistenza a compressione è legata inoltre anche ad altri parametri quali: il grado di cristallizzazione, il tipo e la quantità dei minerali presenti, la velocità di applicazione dello sforzo, etc.

In quest'ottica risulta particolarmente utile una classificazione tecnologica basata esplicitamente sulle classi di resistenza. La Figura 6.1 ripor-

Fig. 6.1. Schemi di classificazione di classi di resistenza a compressione.

ta una serie di classificazioni elaborate da diversi Autori o enti, vedi ad esempio ISRM, International Society of Rock Mechanics[1], 1979 oppure Geological Society 1970.

La definizione della resistenza a compressione delle rocce secondo "classi" piuttosto che con "esatti" valori numerici, è una scelta ampiamente giustificata e pratica. Come può osservarsi, un valore rigido di 40 MPa viene valutato nelle diverse classificazioni, con espressioni che

Tabella 6.1. Caratteri fisico-meccanici dei principali litotipi presenti in Sardegna.

	Resistenza a compressione (MPa)	Porosità (%)
Graniti	60÷250	1÷5
Basalti	30÷200	Porosità (chiusa) 15÷30
Trachiti	20÷100	10÷40
Calcari compatti	100÷180	3÷10
Calcari porosi	20÷60	15÷40
Scisti	100÷120	÷

vanno da *weak* a *low*, da *moderately* fino a *high strenght*.

Nella Tabella 6.1 vengono riportati alcuni intervalli indicativi delle resistenze a compressione e delle porosità delle principali tipologie litiche presenti in Sardegna.

L'elevata dispersione all'interno di una stessa classe di materiale è dovuta sia all'intrinseca modalità di formazione della roccia, ma in parte anche alla diversa entità del degrado che i materiali hanno subito in epoche geologiche (ad esempio per le rocce magmatiche il processo di argillificazione etc.).

Peraltro proprio le parti più degradate di una bancata consentivano ai cavatori una loro più facile lavorazione/coltivazione.

Nella Figura 6.2 è riportato a titolo d'esempio, un'elaborazione grafica delle resistenze meccaniche di alcuni basalti vescicolari in relazione alla loro porosità[2]. In questo caso particolare la variabilità dei dati è legata alla presenza più o meno grande di vuoti (vescicole), che si sono gene-

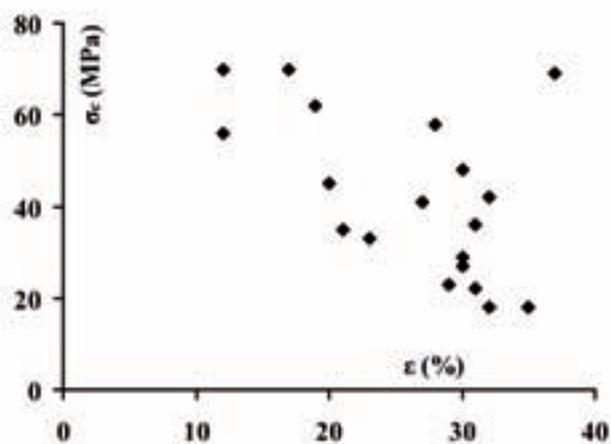



Fig 6.2. Relazione resistenza a compressione vs. porosità di una serie di basalti vescicolari.

	Resistenza a compressione (MPa)	Peso specifico (kg/m^3)
**Benetutti, Nule*	105	2710
**Buddusò*	110	2700
**Mamoiada, a*	105	2660
**Mamoiada, b*	150	2760
**Nuoro, a*	110	2620
**Nuoro, b*	140	2760
**Oliena*	145	2760
**Orgosolo, a*	130	2700
**Orgosolo, b*	135	2650
**Orune, a*	140	2670
**Orune, b*	140	2660
**Sarule*	90	2760
**Tiana*	70	2740
Genna Sciria (Arbus)	151	
Cuile (Mamoiada)	106	
Cala Francese (La Maddalena)	180	
Castello di Burgos	181	
Ornamentali	170÷200	2600÷2700

Tabella 6.2. Resistenze a compressione e pesi specifici di alcuni graniti sardi (dati Montaldo [3]).*

	A	B
M1	50	69
M2	70	63
M3	60	72
M4	38	>90
M5	36	60
M6	80	70
M7	55	60
M8	56	65

Tabella 6.3. Resistenze a compressione (MPa) di alcune marne di Villanovaforru[4]
(A, carico applicato lungo il piano di sedimentazione; B, carico applicato longitudinalmente).

Tabella 6.4. Caratteristiche fisico-meccaniche di alcuni calcari di Isili [5].

	Resistenza a compressione (MPa)	Peso specifico (kg/m^3)	Modulo Elastico (GPa)
1	54	2640	64
2	35	2300	43
3	71	2510	86
4	55	2520	71
5	90	2840	87
6	56	2100	51
7	70	2630	77
8	71	2610	50
9	76	2600	83
M10	64	2620	70

rati durante la solidificazione del magma e che penalizzano la resistenza a compressione di un materiale intrinsecamente di per se, molto resistente.

Rispetto agli altri litotipi, i graniti e i calcari sono stati quelli oggetto di studi più approfonditi anche in relazione al loro maggiore utilizzo.Nella Tabella 6.2 sono riportati alcuni dati specifici sui graniti sardi.

Nelle Tabelle 6.3 e 6.4 sono riportati alcuni dati relativi rispettivamente alle marne della zona di Villanovaforru e ai calcari della zona di Isili.

6.1.2 Conducibilità termica

Questa problematica ha interesse nell'ambito dell'eventuale adeguamento e della qualificazione degli edifici, anche storici, secondo le normative attuali sul risparmio energetico.

Per la valutazione della conducibilità termica della muratura in pietra occorrerà tenere in conto il modello della sua tessitura (disposizione dei conci litici, delle zeppe, della malta di allettamento e di eventuali intonaci interni).

Alcuni valori correnti del coefficiente di conducibilità termica per le rocce e per gli altri componenti dell'edificio sono raccolti nella Tabella 6.5.

Si osserva che rispetto a quanto succede per le proprietà meccaniche, la

Materiale	Coefficiente di conducibilità termica (W m^{-1} K^{-1})
Granito	3 (2500 kg/m^3) ÷ 4 (3000 kg/m^3)
Basalto	3.5 (2700 kg/m^3)
Arenarie	1.6 (2250 kg/m^3) ÷ 2
Calcare	1.5 (1900 kg/m^3)
Marmo	3.5
Terra	0.8
Legno	0.2 ÷ 0.4
Laterizio	0.9 (1800 kg/m^3) ÷ 1.3 (2100 kg/m^3)
Calce	0.9 (1800 kg/m^3)
Blocchetti	1.05
Intonaco di cemento	1.4

Tabella 6.5. Coefficienti di conduzione termica dei materiali dei centri storici della Sardegna.

porosità gioca in questo caso un ruolo positivo, essendo i vuoti, nel materiale secco, "riempiti" d'aria, che ha un coefficiente di conducibilità (0.026 W m^{-1} K^{-1}) molto più basso rispetto a quello intrinseco del materiale.

6.1.3 Radioattività naturale

La radioattività delle rocce ed in particolare dei graniti sardi, è stata oggetto di un certo interesse in anni recenti. Tale fenomeno è dovuto sia all'emissione del gas radioattivo Radon, Rn, che ha come prodotti di decadimento gli isotopi a loro volta radioattivi 210Pb e 210Po, che al contributo diretto di uranio, U, torio, Th, e dell'isotopo 40 del potassio 40K (circa lo 0.012% del K totale). Pressochè tutti i minerali dei graniti contengono questi radioelementi, in tenori generalmente superiori a quanto riscontrabile su altre rocce, ad esempio quelle calcaree. La Tabella 6.6 riporta alcuni dati di carattere generale.

Tabella 6.6. Valori tipici di concentrazione e radioattività nel granito (Bq, unità di attività SI, pari a 1 disintegrazione/secondo).

Radioelemento	Concentrazione	Tipo di emissione Radiazione	Attività, Bq/kg roccia
Uranio	1- 10 ppm	α, β, γ	12.5 -125
Torio	5 - 30 ppm	α, β, γ	20 - 120
Potassio 40	4 % (come K_2O)	β, γ	100

6.2. TECNICHE PER LA DIAGNOSTICA DEL MATERIALE IN OPERA.

Essendo la problematica generale circoscritta al solo patrimonio dell'edilizia minore, seppure radicata su tutto il territorio dell'Isola, l'esigenza specifica di particolari indagini diagnostiche, non può essere considerata alla stregua di quanto normalmente si fa (o si dovrebbe fare) di fronte a importanti "monumenti" di particolare interesse storico-artistico-culturale.

Pur tuttavia è importante avere delle linee guida cui fare riferimento nel caso si debba provvedere ad un importante operazione di ripristino/conservazione.

La caratterizzazione dei materiali in opera e di quelli che si prevede di utilizzare nell'intervento (sia i lapidei di cava che quelli moderni) e la diagnosi del degrado letta in maniera olistica e quindi non limitata alla sola manifestazione specifica, ma coinvolgente il costruito e l'ambiente, devono essere considerati parti preliminari ed integranti del progetto.

Anche se non sempre completamente soddisfacente su alcuni aspetti essenziali quali il rigore dell'approccio statistico, la visione globale/olistica vs riduzionistica dei fenomeni e l'effettiva utilità/traducibilità dei dati di laboratorio rispetto alla progettazione, la caratterizzazione dei materiali dell'edilizia storica e la diagnostica dei processi di alterazione e di degrado possono contare su un complesso di conoscenze, metodi, strumenti e norme sostanzialmente acquisito.

La caratterizzazione è finalizzata anche a interessi archeometrici legati alla ricostruzione della storia della tecnologia e allo studio dell'antica cultura materiale, su cui non sempre si hanno informazioni esaustive.

Verranno di seguito prese in considerazione alcune problematiche cui si deve far fronte nell'ambito del progetto conservativo, associate alle più importanti indagini diagnostiche.

1. Provenienza dei materiali naturali o delle materie prime utilizzate nella preparazione di quelli artificiali:
   composizione chimica (elementi principali ed in traccia), isotopica e mineralogica/petrografia.

2. Tecniche di lavorazione, produzione e posa in opera:
   osservazioni macroscopiche e microscopiche delle tracce di lavorazione, composizione chimica, isotopica e mineralogica.

3. Caratteristiche microstrutturali dei materiali; aspetti dell'alterazione e del degrado compositivo e microstrutturale:
   caratterizzazione della microstruttura porosa (frazione di vuoti, distribuzione dimensionale e superficie specifica) e mineralogica/petrografia.

4. Caratteristiche tecniche macroscopiche dei materiali; aspetti dell'alterazione e del degrado delle caratteristiche tecniche macro-

scopiche:
resistenze meccaniche (compressione, flessione), modulo elastico, coefficienti di dilatazione termoigrometrici, velocità di propagazione degli ultrasuoni, permeabilità all'acqua e all'aria, assorbimento capillare d'acqua e di soluzioni impregnanti, capacità di idrofugazione, stabilità alla formazione di ghiaccio ed alla cristallizzazione di sali.

5. Caratteristiche chimico-fisico-biologiche dell'ambiente:
determinazioni meteorologiche generali e locali, stato dell'inquinamento (su base storica e stagionale e giornaliera attuale):

6. Caratteristiche architettoniche del costruito connesse alla conservazione:
valutazione della distribuzione termoigrometrica e della tecnica costruttiva della sezione muraria.

6.3. NORMATIVA NAZIONALE ED EUROPEA

Gli edifici considerati sono stati realizzati secondo un "saper fare" che pur non rispondendo ad una normativa era comunque efficace e quindi rispondente evidentemente a quei vincoli tecnici ed a quelle caratteristiche dei materiali che non possono che essere generali. L'esperienza tecnica quando raggiunge una generale accettazione diventa, in vario modo, parte di una normativa. Per gli argomenti qui trattati possono richiamarsi una serie di Norme che, a vario titolo e per diversa entità, riteniamo pertinenti e utili.

Si citano due tipi di Norme: quelle generali sulla costruzione di murature in pietra, e quelle sul materiale litico quando componente di costruzioni considerate "bene culturale". Visto che quest'ultimo concetto è stato, oramai da decenni, nelle diverse Carte del Restauro, fortemente ampliato fino a comprendere a pieno titolo anche le manifestazioni dell'architettura popolare, si può dire che esse presentino indubbiamente una certa rilevanza anche per la nostra trattazione.

La Norma Italiana[6] UNI8458 del 1983 "stabilisce e definisce i termini tecnici e classifica i prodotti lapidei impiegati nell'edilizia" come *"rocce da costruzione e da decorazione"* (escludendo i prodotti di frantumazione o i granulati naturali quali ghiaia e sabbia).

I materiali vengono classificati nelle quattro categorie commerciali:

- marmo ("roccia cristallina, compatta, lucidabile, da decorazione e da costruzione, prevalentemente costituita da minerali di durezza Mohs dell'ordine di 3 a 4");

- granito ("roccia fanero-cristallina, compatta, lucidabile, da decorazione e da costruzione, prevalentemente costituita da minerali di durezza Mohs dell'ordine di 6 a 7");

- travertino ("roccia calcarea sedimentaria di deposito chimico");

- pietra ("roccia da costruzione e/o da decorazione di norma non lucidabile").

Seguono una serie di termini e classificazioni relativi alle forme, alle dimensioni, ai piani di divisibilità, ai difetti, allo stato di finitura delle superfici.

Sulle caratteristiche tecniche "di accettazione" delle "pietre naturali da costruzione" il Regio Decreto[7] 2232 del 1939 definisce le procedure per la determinazione delle caratteristiche fisiche (peso di volume, peso specifico, coefficiente di imbibizione, resistenza all'azione del gelo/disgelo), di resistenza meccanica (a compressione, usura per attrito radente e per getto di sabbia, di flessione e di urto) e di resistenza chimica (azione della salsedine marina). Di rilievo anche il Regio Decreto 2234, sempre del 1939, sulle norme di accettazione del materiale per pavimentazioni, ove trattasi del materiale lapideo (resistenza all'urto, alla flessione, all'usura per attrito radente e per getto di sabbia, alla gelifrazione).

La resistenza a compressione della muratura in pietra secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni[8] dell'anno 2008 (Gazzette Ufficiale n.29 del 4-2-2008) può essere effettuata sperimentalmente realizzando campioni della muratura (elementi in pietra e malta legante), oppure può essere stimata dalle proprietà della pietra e della malta. Quest'ultimo aspetto è particolarmente rilevante nel nostro contesto. Secondo queste norme Norme, la muratura è il prodotto dell'assemblaggio:

"organizzato ed efficace di elementi e malta",

e:

"Gli elementi naturali sono ricavati da materiale lapideo non friabile o sfaldabile, o resistente al gelo; essi non devono contenere in misura sensibile sostanze solubili, o residui organici e devono essere integri, senza zone alterate o rimuovibili. Gli elementi devono possedere i requisiti di resistenza meccanica ed adesività alle malte determinati secondo le modalità descritte nel § 11.10.3."

Delle prescrizioni sulle malte per muratura si è detto nel precedente Capitolo 3.

Le pietre possono essere di forma pressoché parallelepipeda, o squadrata, oppure grossolanamente lavorate, o non squadrata. In quest'ultimo caso devono comunque essere poste in opera in strati pressoché regolari ed eventualmente la muratura deve essere listata da fasce di calcestruzzo semplice o armato o da filari di laterizio pieno. Si osserva che ancora una volta nulla osta dal punto di vista tecnico all'impiego del legante cementizio nella cooperazione con la pietra, seppur siano evidenti i problemi che questi materiali possono dare con il loro carico di sali solubili.

Definita la resistenza caratteristica a compressione dell'elemento lapideo (su 10 campioni) come il 75% della resistenza a compressione media degli elementi testati, allora la resistenza della muratura è deducibile dalla tabella 11.10.VI della Norma, una versione semplificata della quale è riportata nella Tabella 6.7.

Si osserva che i valori non superano quelli della malta più resistente, qualunque sia quello della pietra (nei nostri contesti la pietra è spesso, e di molto, superiore al limite dei 40 MPa).

Il modulo elastico (secante) è indicativamente pari a 1000 volte il valore della resistenza caratteristica a compressione stimato per la muratura. Come evidenziato, queste Norme sono piuttosto generiche se rapportate al contesto specifico come quello in oggetto. Nelle considerazioni riassuntive verranno messe in evidenza le problematiche locali, cui faranno riscontro alcune proposte per una regolamentazione a livello regionale.

Tabella 6.7. Resistenza a compressione, in N/mm², della muratura in pietra.

Resistenza a compressione caratteristica della pietra, (MPa)	Resistenza a compressione della muratura con malta M 15 (15 MPa)	Resistenza a compressione della muratura con malta M 5 (5 MPa)
10	6.2	4.7
15	8.2	6.0
20	9.7	7.0
30	12.0	8.6
> 40	14.3	10.4

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] ISRM, *International Society of Rock Mechanics*, 1979 oppure Geological Society 1970.

[2] G. Pia, *Aspetti innovativi per la valutazione a la misura della porosità nei materiali dell'edilizia antica e moderna. La geometria frattale della porosità*, Tesi di Dottorato Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, relatore prof. U. Sanna, correlatore ing. C. Atzeni, 2009.

[3] P. Montaldo, *Giaciture e caratteristiche tecniche di rocce del complesso dei graniti della Sardegna. Soc. Poligrafica Sarda*, Cagliari, 1962.

[4] C. Atzeni, M.G. Cabiddu, L. Massidda, U. Sanna, *Studio delle cause di deterioramento chimico – fisico dei materiali costituenti il complesso nuragico di Genna Maria – Villanovaforru*, Relazione tecnica, 1992.

[5] C. Atzeni, G. Pia, N. Spanu, U. Sanna, *Studio delle tecnologie per la conservazione dei materiali del nuraghe Is Paras,* Relazione tecnica, 2006.

[6] *Norma Italiana* UNI8458 del 1983.

[7] *Regio Decreto* 2232 del 1939.

[8] *Norme Tecniche sulle Costruzioni dell'anno 2008* (Gazzette Ufficiale n.29 del 4-2-2008).

capitolo 7

RECUPERO E RESTAURO DELLE ARCHITETTURE IN PIETRA
LE BUONE PRATICHE

7.1. IL COMPLESSO EDILIZIO "EX O.N.M.I." A GUSPINI
Progettisti: Luca Tuveri, Gianfranco Poddighe

Il complesso edilizio "ex ONMI" deve la sua denominazione al prolungato uso quale sede locale dell'Opera Nazionale Maternità e Infanzia. Esso occupa una delle parti meglio conservate del centro storico di Guspini, fortemente intaccato per il resto da sostituzioni tipologiche permesse dal benessere economico e dalla disponibilità di nuove tecnologie edilizie generate dalla rigogliosa attività mineraria.
Costretto in lotto allungato tra la vie Don Minzoni e il viale della Libertà, il complesso si sviluppa come aggregazione lineare di episodi tipologici differenti: ad un primo corpo di fabbrica riconoscibile come "palazzotto su strada", organizzato da quattro cellule murarie su due livelli, corrispondono due lunghi corpi di fabbrica "ad aula", singolari nella geografia tipologica dei centri storici del Campidano. La sequenza è conclusa da alcuni corpi accessori e dalla corte posteriore, occupata dal tradizionale giardino di agrumi.
La fabbrica è prevalentemente realizzata secondo la consueta tecnica mista, cioè con un basamento in granito locale, alto circa quanto la quota di imposta dei solai intermedi, sul quale si elevano le murature in mattoni di terra cruda. I corpi successivamente annessi sono interamente realizzati da murature in conci di granito.
I solai intermedi erano realizzati da una semplice orditura di travi in legno non pregiato (abete) con sovrastante tavolato, in parte sostituiti nel tempo da solai latero-cementizi gettati in opera. Le strutture di copertura, costituite in parte da orditure semplici, in parte da capriate, sono completate dal tradizionale incannucciato e da un manto in coppi allettati con malta di calce e sabbia. I pavimenti di entrambi i piani erano realizzati con le usuali mattonelle cementizie, in parte arricchite da motivi decorativi.

Fig. 7.1. Il prospetto principale.

Fig. 7.2. Vista d'insieme dei corpi di fabbrica sulla corte interna.

Il complesso, prima dell'intervento, appariva in cattivo stato di conservazione. Lentamente emarginato dalla vita collettiva, privo negli ultimi anni di una qualunque funzione sociale che non fosse quella di deposito comunale di materiali vari, la fabbrica dimostrava con evidenza gli effetti della prolungata assenza di manutenzioni. Fenomeni di umidità interessavano tutte le strutture, sia per risalita dal basso che per le infiltrazioni d'acqua dall'alto, a causa delle lacune formatesi nel manto di copertura e delle cattive condizioni di gronde e canali. Nel tempo la loro azione ha determinato il degrado statico della fabbrica coinvolgendo sia le strutture orizzontali sia, localmente, quelle verticali: travi e capriate non sembravano più in grado di assolvere alle proprie funzioni portanti, mentre le murature presentavano indebolimento delle ammorsature d'angolo, de-coesione degli elementi lapidei per progressivo svuotamento dei giunti, lesioni passanti. Considerato questo quadro generale l'intervento ha provveduto al recupero delle funzioni statiche e al risanamento della fabbrica, operando per conservazione degli elementi ancora in buono stato e limitando le sostituzioni, comunque definite in analogia con le tecniche e i materiali preesistenti, alle parti irrimediabilmente degradate.

Fig. 7.3. Vista interna della sala al primo piano.

L'intervento sulle murature esistenti è stato calibrato sulle patologie che manifestavano. Le porzioni murarie particolarmente impoverite nel loro nucleo sono state trattate, previa una sigillatura dei giunti che impedisse la fuoriuscita della miscela, con iniezioni di calce idraulica. Nelle porzioni lesionate, invece, si è proceduto con la tecnica dello scuci e cuci oppure, ove non possibile, attraverso l'inserimento di barre in vetroresina, disposte in modo tale da ricucire il distacco tra gli elementi lapidei, rese successivamente collaboranti con la muratura mediante sigillatura delle sedi con malta di calce.

I solai intermedi sono stati ricostruiti ricalcando materiali, tecniche e disposizioni originali: su un'orditura semplice di travi in legno lamellare di abete è stato posato un tavolato da 4 cm. Le nuove coperture sono state invece realizzate con struttura lignea, in alcune parti ad orditura semplice, in altre con capriata e doppia orditura di correnti, e incannicciato "a canna maestra". Si è quindi completato lo strato di copertura con la barriera al vapore, lo strato di coibentazione e, infine, il manto impermeabile ardesiato, sul quale sono stati posati, con allettamento di malta di calce i coppi di recupero.

Il resto degli interventi è stato finalizzato ad adeguare il complesso edilizio al nuovo uso. La doppia destinazione di biblioteca tematica, al piano terra, e di spazi per esposizioni e manifestazioni culturali, a quello superiore, ha determinato l'adeguamento di tutti i percorsi interni ai requisiti antincendio e abbattimento delle barriere architettoniche. In realtà il superamento dei salti di quota, sia per il ruolo urbano del lotto quale potenziale collegamento di due vie che presentano una importante differenza di quota (circa 9,50 mt), sia per la necessità di mettere in comunicazione corpi di fabbrica nati in epoche successive e caratterizzati da differenti quote di imposta dei solai intermedi, è divenuto il tema principale del progetto di riuso.

Le soluzioni adottate in questo senso richiamano alcuni elementi della tradizione, in particolare le scale con cosciali laterali e pedate in legno tipiche dell'architettura tradizionale, ma non rinunciano ad esprimere la loro contemporaneità attraverso l'uso di elementi strutturali in acciaio verniciato e un disegno che rielabora la modestia delle soluzioni che caratterizzava la costruzione popolare tradizionale.

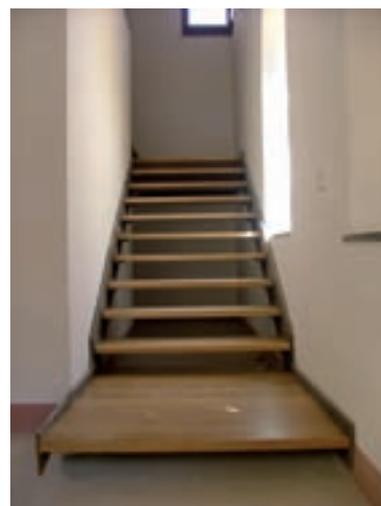
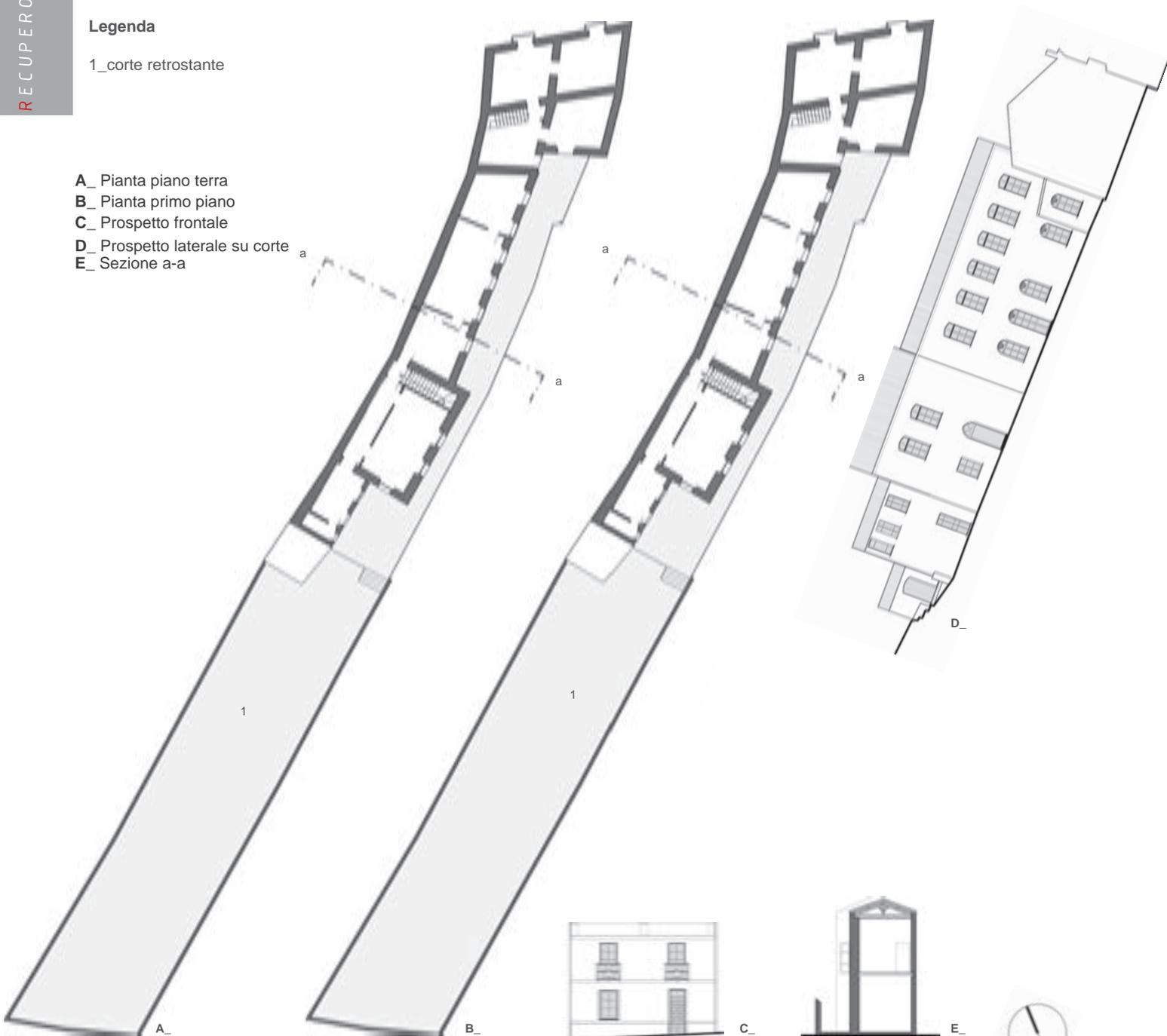
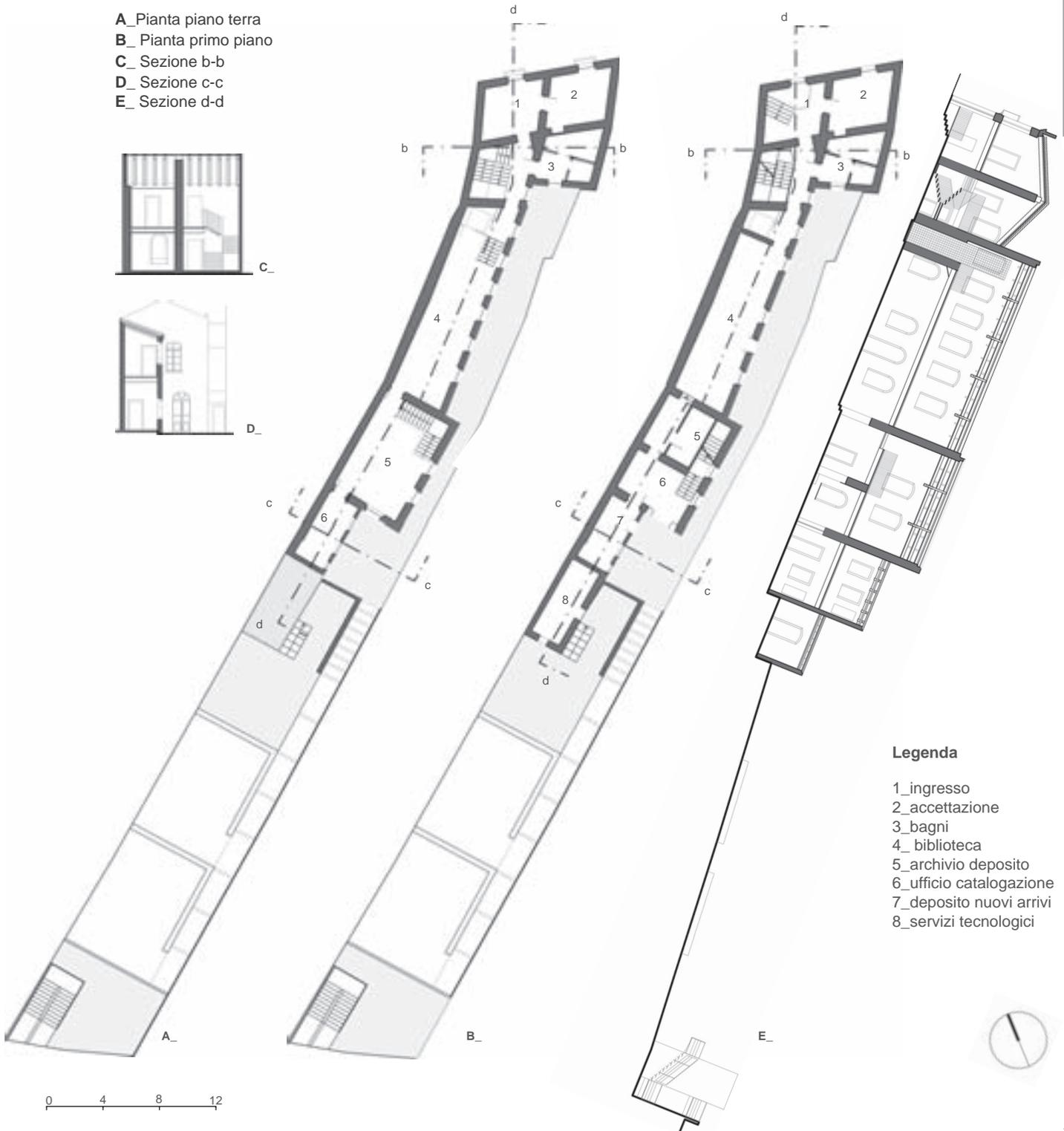



Fig. 7.4. Vista dei nuovi elementi di collegamento verticale.

Vista del prospetto su strada.

1_Manto di copertura
2_Pannelli in conpensato marino “okoumè” 15 mm
3_Impermeabilizzazione con guaina bituminosa
4 _barriera al vapore + poliuretano espanso (densità 35) 40 mm
5_Incannicciato
6_travetti in legno lamellare 80x96 mm (interasse 1 ml)
7_correnti in legno lamellare 120x200 mm
8_puntone in legno lamellare 120x240 mm
9_saetta in legno lamellare 120x240 mm
10_catena in legno lamellare 120x240 mm11 strato protettivo in sughero 30 mm
12_muratura in mattoni di terra cruda
13_pavimento tipo junckers
14_massetto in calcestruzzo + rete elettrosaldata Ø 6
15_orditura legno lamellare abete rosso II classe
16_elemento di appoggio in legno 25x50x5 mm
17_pavimento in mattonelle di cemento e graniglia 20x20 cm proveniente da precedenti smontaggi
18_sottofondo di malta di calce idraulica 80 mm
19_vespaio aerato 25+4 = elementi modulari
20_sottofondo in cls magro, 120 mm
21_pavimentazione in cls architettonico, spessore 8 cm
22_massetto di cls magro, spessore 8 cm

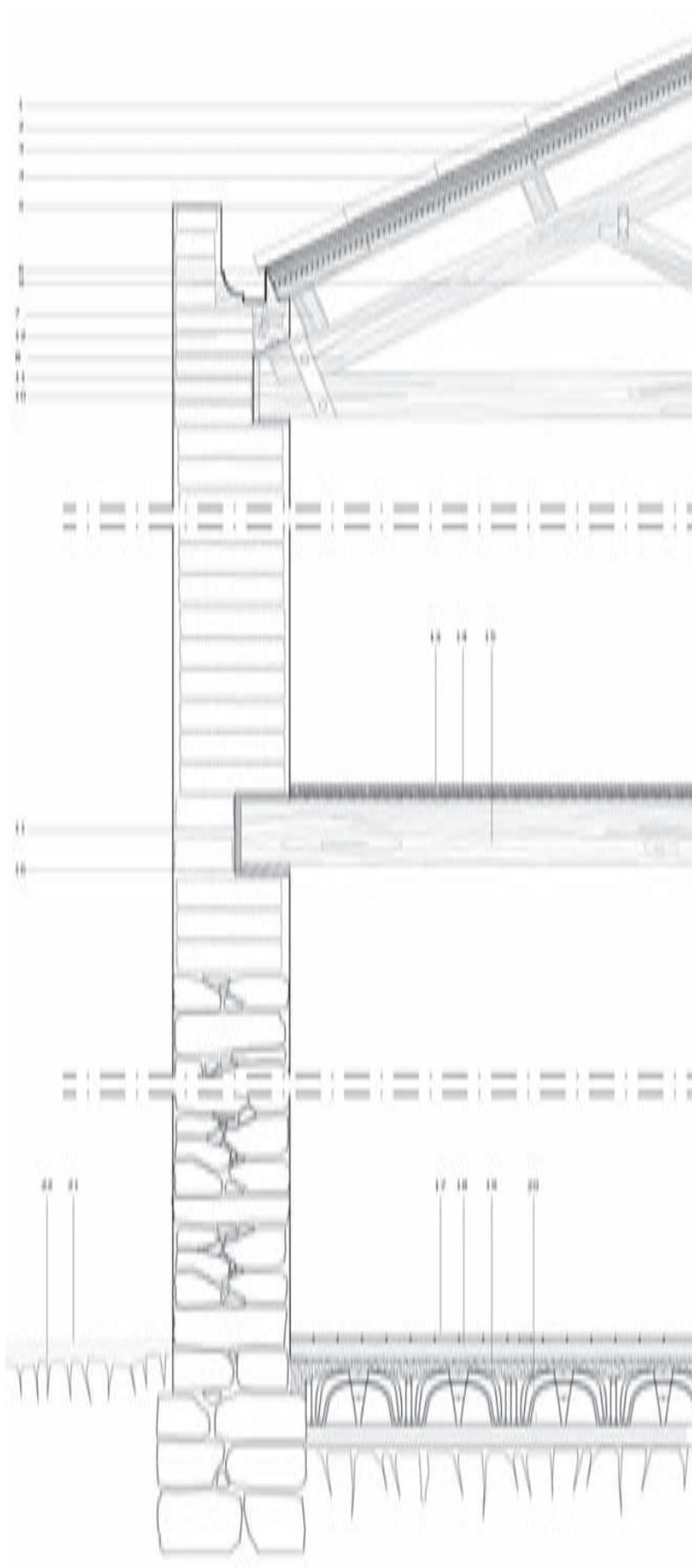



Fig. 7.5. Dettaglio costruttivo, sezione verticale.

0 25 50 75 cm

IL SISTEMA DI COPERTURA

Fig. 7.6. Fasi di ricostruzione del manto di copertura attraverso l'utilizzo di tegole recuperate dalla fabbrica originale.

Fig. 7.7. Le nuove coperture sono realizzate ricalcando tecniche e disposizioni originali: sulla struttura lignea, in alcune parti ad orditura semplice, in altre con capriata e doppia orditura di correnti, viene posato l'incannicciato "a canna maestra".

RISANAMENTO DELLE MURATURE

Fig. 7.8. Le porzioni murarie particolarmente impoverite nel loro nucleo sono state trattate, previa una sigillatura dei giunti che impedisse la fuoriuscita della miscela, con iniezioni di calce idraulica.

Fig. 7.9. Nelle porzioni lesionate della muratura si è proceduto attraverso l'inserimento di barre in vetroresina, disposte in modo tale da ricucire il distacco tra gli elementi lapidei.

INTONACI E FINITURE

Fig. 7.10. Ripristino dei giunti delle murature lapidee con malta di calce e terra.

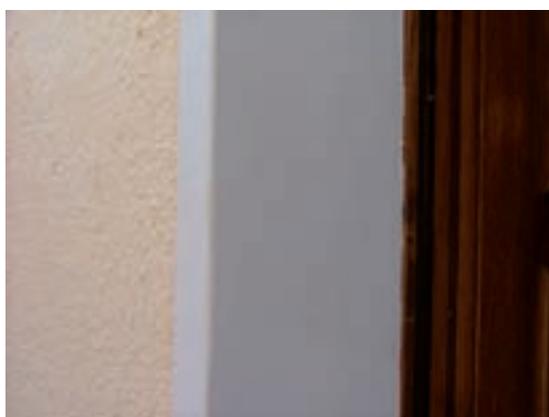



Fig. 7.11. Ricostruzione delle cornici delle aperture del prospetto principale.

7.2. LA CASA BELLU A SERRENTI
Progettista: Alessio Bellu

La casa oggetto dell'intervento di recupero, sita all'interno del centro storico di Serrenti, rappresenta un tipico esempio di casa a corte con cortile retrostante. L'impianto originario è costituito da tre cellule allineate a due livelli con piccole aperture rivolte verso la lunga corte. Il corpo di fabbrica principale è disposto perpendicolarmente rispetto allo sviluppo maggiore del lotto – circa 40 m - e fraziona lo spazio in due corti (una principale antistante all'abitazione, che accoglie nella parte terminale il portale d'accesso alla casa, ed una più piccola nella zona retrostante) secondo una distinzione abituale nelle costruzioni storiche delle aree collinari centro-merdionali della Sardegna.
Prima dell'intervento di recupero la casa presentava una configurazione più complessa, derivata da successive trasformazioni e aggiunte succedutesi nel tempo. Una delle principali modifiche è stata quella del raddoppio in profondità ottenuto attraverso un loggiato con terrazza soprastante; inoltre una serie di vani accessori e tettoie hanno colonizzato, in diverse fasi temporali, i muri che recingono la corte invadendo totalmente il perimetro ovest e solo in parte quello est. Il terreno su cui sorge la casa è leggermente in pendenza e l'abitazione si colloca nel punto con quota più elevata: per questo motivo è accessibile tramite una doppia successione di due gradini intervallati da un'area pavimentata in piastrelle in cotto. Questo sistema

Fig. 7.12. Lo stato dell'edificio prima dell'intervento di recupero. Vista dei fabbricati residenziali dalla prima corte. In primo piano il loggiato e la sovrastante terrazza.

Fig. 7.13. Vista della corte principale, in evidenza il recupero dell'acciottolato esistente.

Fig. 7.14. Vista del prospetto principale della casa dalla corte dopo l'intervento di recupero.

Fig. 7.15. Vista dal loggiato verso il portale d'accesso. In dettaglio il recupero degli archi in mattoni cotti.

Fig. 7.16. Vista sul terrazzo, in primo piano la nuova pavimentazione in coccio pesto e il volume ricostruito in pietra faccia a vista.

Fig. 7.17. Vista del cortile retrostante.

di ingresso alla casa, insieme alle arcate del loggiato e al parapetto della terrazza, caratterizza il prospetto.
La fabbrica edilizia è realizzata con tecnica mista: la struttura muraria, soprattutto nelle sue parti perimetrali, è in trovanti irregolari e grossolanamente sbozzati in "pietra di Serrenti", i setti interni e il muro esposto a nord del secondo livello sono invece realizzati in mattoni di terra cruda. Il loggiato, più recente, è realizzato con una muratura in pietra cavata e tre grandi archi in mattoni cotti.
Al momento dell'intervento lo stato complessivo delle strutture era fatiscente, la mancanza di manutenzione aveva provocato il deterioramento di ampie parti del tetto dando origine a un concatenarsi di effetti: penetrazione dell'acqua, conseguente dilavamento delle superfici intonacate e presenza di umidità.
Gli interventi sulla fabbrica hanno riguardato il totale rifacimento delle coperture, ormai deteriorate e non più in grado di assolvere le proprie funzioni, e la completa ricostruzione dei solai di base con la posa di un nuovo vespaio areato contenuto da cordoli perimetrali in calcestruzzo a consolidamento delle vecchie fondazioni. Sui solai intermedi invece si è provveduto ad un risanamento degli elementi lignei esistenti e alla realizzazione di un nuovo massetto che contenesse l'impianto di riscaldamento radiante a pavimento. Anche le coperture dei vani strumentali allineati lungo il perimetro ovest del lotto sono state completamente ricostruite con l'utilizzo di tecniche tradizionali soprattutto relativamente alla posa degli elementi lignei della struttura portante, dell'incannicciato e dei coppi.
In tutti i tipi di intervento, laddove possibile, si è provveduto al restauro degli elementi costruttivi e delle finiture esistenti e al loro compatibile riuso. Le superfici intonacate sono state risanate effettuando interventi puntuali laddove si mostravano distacchi o mancanze con l'utilizzo di materiali coerenti: un primo strato di fango e paglia e finitura di malta a base di calce. Gli infissi in legno e i pavimenti originali in marmette di cemento sono stati in gran parte restaurati e recuperati.
Il progetto di recupero si è rivolto al ripristino dell'edificio per il mantenimento della funzione abitativa; la continuità d'uso ha dato la possibilità di intervenire su di esso attuando piccole modifiche distributive necessarie ad un utilizzo ottimale degli spazi. L'impianto volumetrico non è stato alterato. La presenza di alcune preesistenze realizzate in tempi successivi alla fabbrica originaria con tecniche e materiali impropri ha offerto l'occasione per sperimentare nuove soluzioni linguistiche nella concezione dei corpi aggiunti. La sopraelevazione in blocchi di cemento sulla prima cellula edilizia della stecca perpendicolare al corpo principale è stata completamente ricostruita con una muratura in pietra a vista realizzata con giunti a secco in continuità con la muratura del corpo sottostante, ripercorrendo tecniche ampiamente diffuse nella cultura costruttiva tradizionale. La necessità di definire una nuova configurazione distributiva del piano terra, in cui l'articolazione per cellule della fabbrica esistente appariva fortemente limitante rispetto all'uso, ha dato luogo a un consistente intervento modificativo: in luogo dei tre ambienti divisi dai muri trasversali in terra cruda, si è concepito uno spazio unitario ottenuto attraverso la realizzazione di due grandi portali in acciaio costituiti da profili HEA 200 che ripristino la continuità dei setti a sostegno del solaio intermedio. Nella realizzazione di tali portali l'attenzione è stata rivolta soprattutto al mantenimento del comportamento statico del sistema murario portante.

IL SISTEMA DI COPERTURA

Fig. 7.18. Ricostruzione della copertura, la posa della struttura lignea.

Fig. 7.19. Vista dell'intradosso della copertura, dettaglio dell'orditura della nuova struttura lignea prima della posa dell'impalcato.

LA STRUTTURA MURARIA

Fig. 7.20. Vista dei vani al piano terra. Predisposizione della puntellatura per la messa in sicurezza delle strutture.

Fig. 7.21. Vista dei vani al piano terra, in evidenza la continuità dello spazio. Realizzazione del pavimento radiante.

CHIUSURA DI BASE E FONDAZIONI

Fig. 7.22. Predisposizione dell'armatura in prossimità dei muri perimetrali per il consolidamento delle murature.

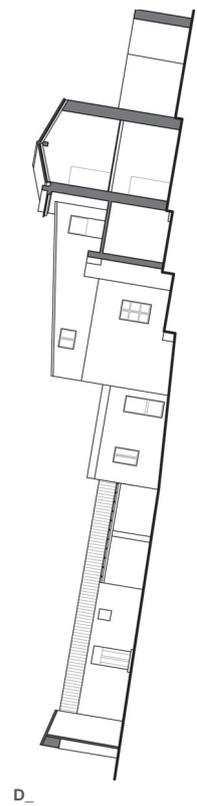
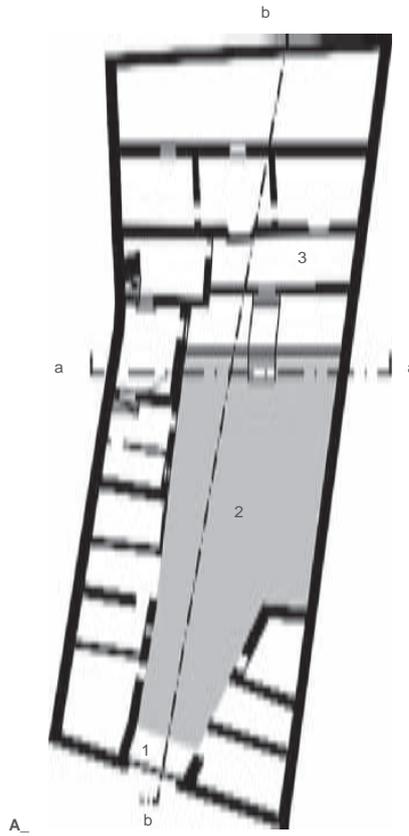
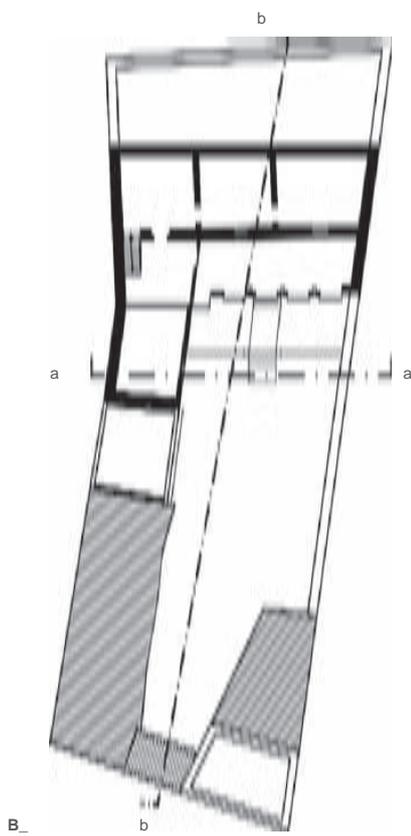
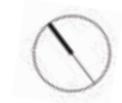
Fig. 7.23. Dettaglio della canaletta di raccolta delle acque nella piccola corte retrostante.

CASA BELLU_ rilievo

catastale storico 1900-1910

inquadramento urbano

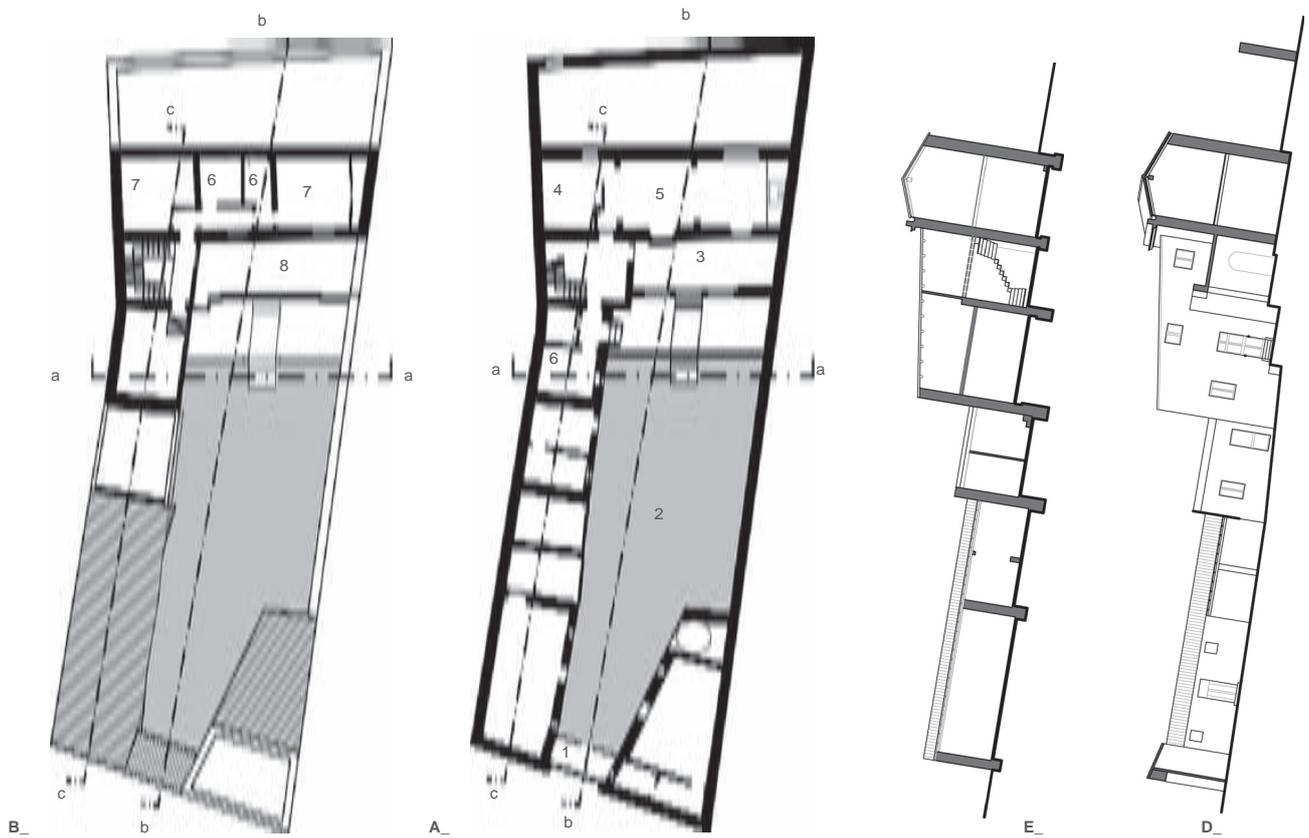
Legenda

1_portale
2_corte antistante
3_loggiato

A_Pianta piano terra
B_ Pianta primo piano
C_ Sezione a-a
D_ Sezione b-b

Vista del loggiato e della corte antistante.

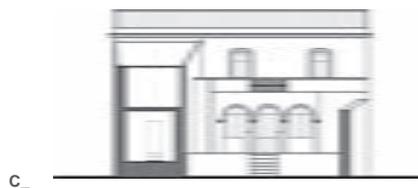
CASA BELLU_ progetto

Legenda

1_portale
2_corte antistante
3_loggiato
4_pranzo-cucina
5_soggiorno
6_bagno
7_camera
8_terrazza

B_ A_ E_ D_

A_Pianta piano terra
B_ Pianta primo piano
C_ Sezione a-a
D_ Sezione b-b
E_ Sezione c-c

C_

0 4 8 12

7.3. ANTIQUARIUM DELL’OSSIDIANA A VILLA VERDE
Progettisti: Maurizio Manias, Gianfranco Sanna, Franceschino Serra

Attraverso l’operazione di recupero dell’edificio - sito nel centro storico di Villa Verde - come museo archeologico ”Antiquarium dell’Ossidiana” si è perseguita una duplice finalità, da una lato conservare/valorizzare una casa tradizionale di grande rilievo storico, testimonianza materiale di una società giunta integra e qualificante della memoria del luogo, dall’altro restituire alla comunità uno spazio di grande valore culturale per il territorio dell’alta Marmilla. L’edificio si offre come “sfondo-palcoscenico” le cui grandi qualità spaziali e architettoniche sono arricchite dalla nuova funzione attribuitagli.
La fabbrica edilizia si presentava prima dell’intervento in uno stato di forte degrado. Le soluzioni progettuali sono state rivolte in primo luogo alla conservazione e al risanamento delle strutture murarie esistenti, appartenenti all’impianto storico-originario; i volumi aggiunti, realizzati in epoche recenti e con bassa qualità costruttiva e materica, sono stati invece demoliti. Le coperture sono state ricostruite secondo la sagoma originaria con l’utilizzo di travi in legno lamellare legate da una catena costituita da un cavo liscio in acciaio.
Ma uno degli aspetti più rilevanti di questo progetto è stato l’adeguamento dell’edificio in vista della nuova funzione, sia dal punto di vista distributivo, sia impiantistico ma soprattutto dell’accessibilità e di un’adeguata fruibilità degli spazi espositivi. A tal fine sono stati concepiti degli spazi che fossero i più ampi e unitari possibile, in modo da garantire un tipo di esposizione flessibile. La nuova configurazione degli ambienti è stata ottenuta con la demolizione di alcune partizioni interne, laddove

Fig. 7.24. L’esterno, vista dalla strada in corrispondenza del portale d’accesso alla casa.

questa operazione non snaturasse in alcun modo l'originario impianto a cellule edilizie che rappresenta una delle peculiarità dell'edilizia storico-tradizionale in Sardegna. L'accessibilità alle sale espositive del secondo livello è assicurata attraverso una pedana elevatrice e attraverso la ricostruzione della scala esterna.
Con un intervento di completa ricostruzione dei vecchi fabbricati accessori rivolti sulla corte è stata preservata e rafforzata la centralità della stessa come spazio fulcro dell'intero complesso; un'ampia vetrata chiude i nuovi ambienti espositivi creando un rapporto permeabile e di diretta vicinanza con lo spazio centrale aperto.
Infine la reinterpretazione in chiave contemporanea di alcuni elementi e caratteri della tradizione hanno avuto esito in soluzioni originali per il ridisegno del portale d'ingresso e della scala esterna. L'intreccio delle ante del portale, di tipo spingente con arco a tutto sesto, realizzato con sottili piattine in acciaio reinterpreta la tessitura degli elementi lignei su maglia ortogonale con cui venivano storicamente realizzati i cancelli ("s'eca").

Fig. 7.25. Vista della corte interna. In evidenza la sistemazione della corte in lastre di basalto lungo il perimetro e tozzetti nella parte centrale. Nella stessa immagine a destra la nuova scala esterna di accesso alle sale espositive del primo piano.

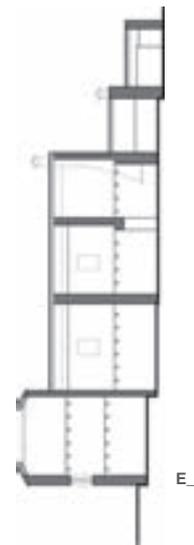
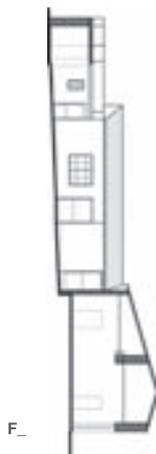
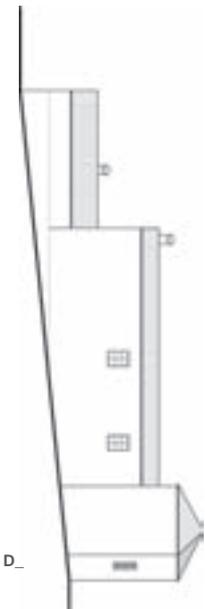
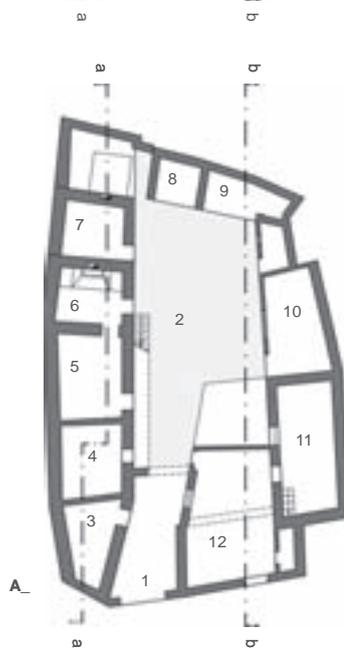
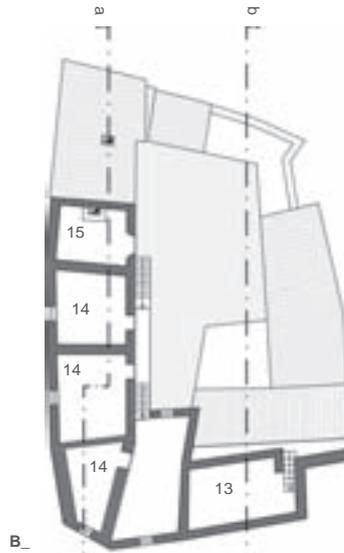
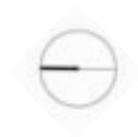
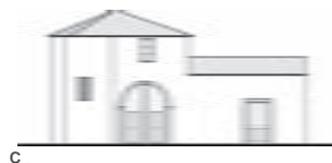
Fig. 7.26. Vista dalla corte interna. Dettaglio dell'attacco a terra della scala in acciaio realizzato con un blocco in calcestruzzo su cui posano gli ultimi gradini costituiti da blocchi monolitici in basalto e a cui aderisce il rivestimento laterale dello stesso materiale lapideo.

ANTIQUARIUM DELL'OSSIDIANA_ rilievo

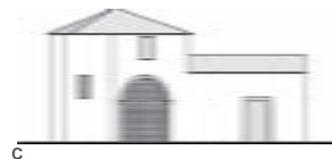
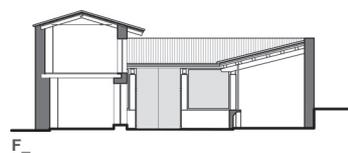
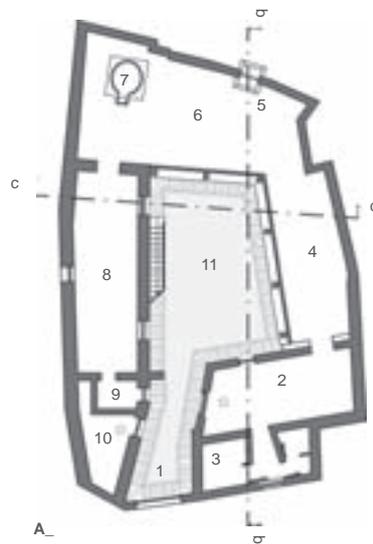
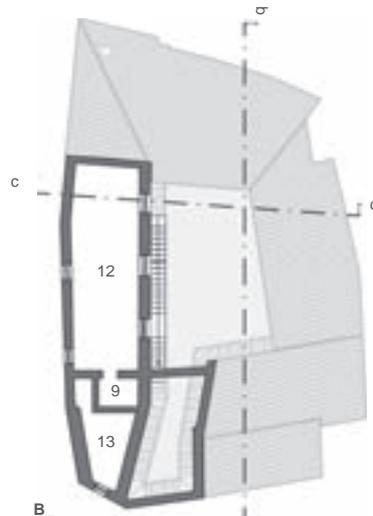
catastale storico 1900-1910

inquadramento urbano

Legenda

1_portale
2_corte antistante
3_magazzino
4_sala
5_cucina
6_cucinino
7_forno
8_ricovero attrezzi
9_pozzo
10_sala lavorazione alimenti
11_cucina
12_bottega
13_sottotetto
14_camera
15_granaio

A_ Pianta piano terra
B_ Pianta primo piano
C_ Prospetto frontale
D_ Prospetto laterale
E_ Sezione a-a
F_ Sezione b-b

Vista della corte interna.

Legenda

1_ingresso
2_biglietteria e book shop
3_servizi
4_mostra temporanea
5_pozzo antico
6_ mostra permanente ossidiana
7_forno antico
8_locale ascensore
9_locale impianti
11_corte interna
12_sala proiezioni
13_vuoto tecnico

A_Pianta piano terra
B_ Pianta primo piano
C_ Prospetto frontale
D_ Prospetto laterale
E_ Sezione b-b
F_ Sezione c-c

1_manto di copertura in coppi sardi
2_ondulina sottocoppo
3_pannelli in schiuma di poliuretano estruso spess. 3 cm intervallato da listellini lignei dim. 3x5 cm
4_tavole autoincastranti spess. 3cm
5_moraletti 5x5 cm interasse 80 cm
6_morali in legno massello dim. 15x15 cm, interasse 80 cm
7_trave in legno lamellare incollato dim. 20x39 cm
8_piastra in acciaio inox aisi 304 dim. 240x450x15 mm
9_tirafondo ø 20 mm
10_pilastro in calcestruzzo prefabbricato
11_pavimentazione in lastre in basalto 40x20x4 cm
12_canale di raccolta delle acque
13_acciottolato
14_vetrata su infisso in legno
15_tavolato in legno spess. 2 cm
16_massetto autolivellante spess. 5 cm
17_malta di allettamento
18_massetto in calcestruzzo con rete elettrosaldata

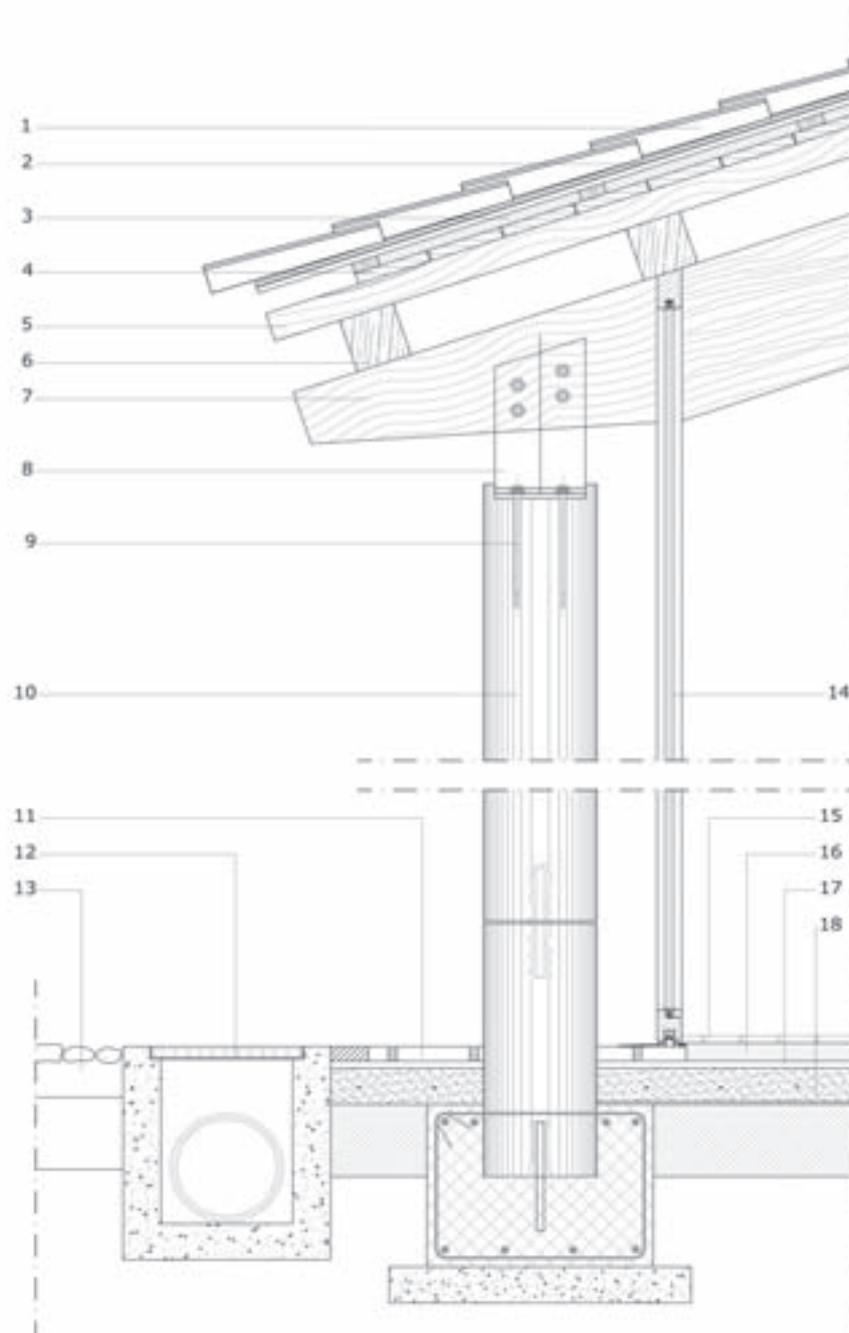



Fig. 7.27. Dettaglio costruttivo. Sezione verticale in corrispondenza delle vetrate delle sale espositive a est delle corte.

Fig. 7.28. Foto esplicativa del dettaglio costruttivo. Stato antecedente al completamento della facciata vetrata.

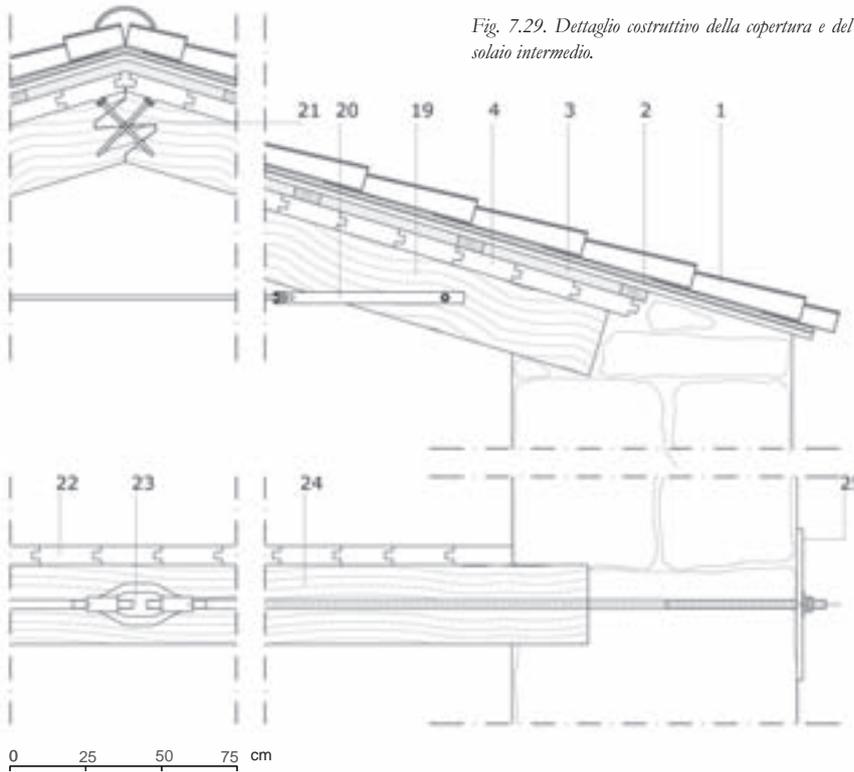



Fig. 7.29. Dettaglio costruttivo della copertura e del solaio intermedio.

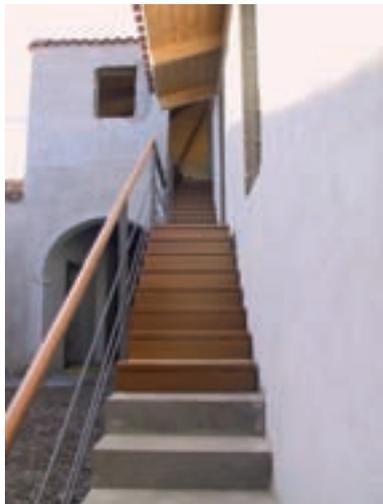
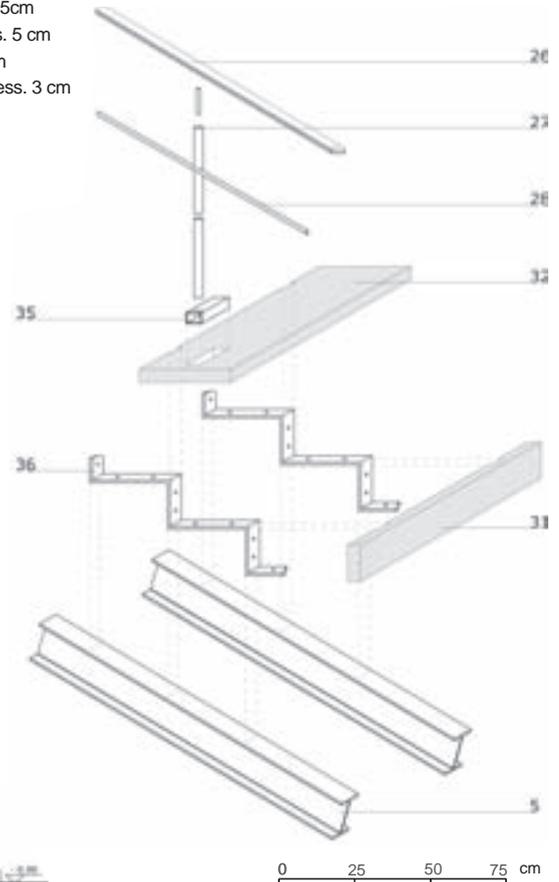
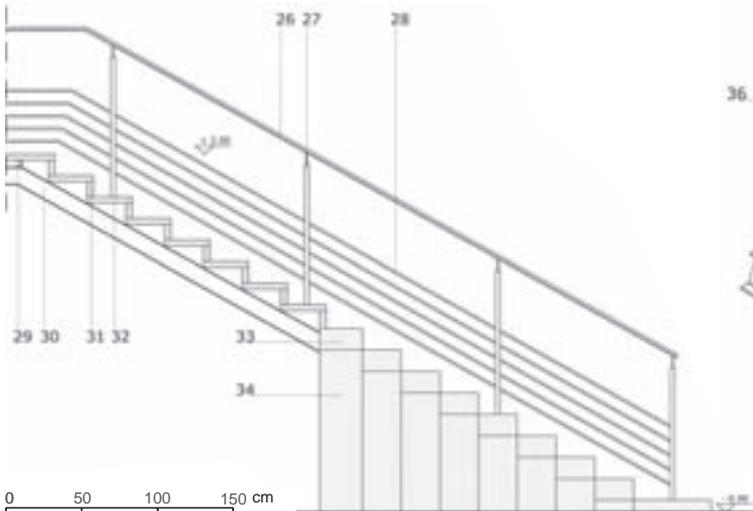
19_trave in legno lamellare incollato 12x18 cm.
20_barra liscia tonda in acciaio inox aisi 304 con estremita' filettate ø 12
21_particolare incastro con viti autofilettanti tra travi in legno lamellare
22_tavolato in legno spessore 5 cm
23_tiranti in acciaio fe 560 in barra tonda liscia ø 24 con manicotto tenditore centrale, uno ogni due travi (200 cm)
24_trave in legno lamellare incollato 14x21 cm
25_piastra in acciaio inox 400x60x15 mm

26_corrimano in legno su piatto in acciaio 5x1 cm
27_montante tubolare in acciaio diametro 35 mm
28_correnti tubolari in acciaio diametro 15 mm
29_profilato a "c"
30_travi serie ipe 120
31_alzate in legno tipo "teak" spess. 5cm
32_ pedate in legno tipo "teak" spess. 5 cm
33_gradini in basalto: 80x30x17.4 cm
34_rivestimento in lastre di pietra spess. 3 cm
35_scatolare in acciaio: 60x42 mm
36_piatto in acciaio: 50x10 mm

Fig. 7.30. Dettaglio costruttivo della scala esterna realizzata in acciaio, legno e pietra. A sinistra immagine esplicativa della realizzazione.

7.4. LA CASA - MUSEO ETNOGRAFICO A GONNOSNÓ
Progettisti: Maurizio Manias, Franceschino Serra

L'edificio oggetto del recupero, sito nel centro storico di Gonnosnò, rappresenta un tipico esempio di casa con loggiato, a due cellule in larghezza con sviluppo su due livelli e raddoppio in profondità. Collocato in posizione nord su di un lotto passante di forma irregolare, definisce due corti di cui una principale antistante e una retrostante di dimensioni ridotte con accesso dalla via Verdi.
Prima dell'intervento la casa versava in uno stato di forte degrado legato alla mancanza di manutenzione e all'abbandono; ciò tuttavia non ha compromesso la conservazione dell'impianto tipologico e la riconoscibilità degli elementi e dei caratteri costruttivi. L'edificio è realizzato in pietra arenaria con trovanti di dimensioni variabili apparecchiati a ricorsi pseudo-orizzontali, i solai erano costituiti da una struttura in travi di castagno e tavolato ligneo; le coperture, realizzate secondo tecniche tradizionali, erano anch'esse costituite da una struttura lignea a falsa capriata ("cuaddu armau"), incannicciato e manto esterno in coppi di tipo sardo.
L'intervento di recupero della casa, finalizzato alla realizzazione di un museo etnografico, è consistito principalmente nella completa ristrutturazione della fabbrica edilizia senza alcuna alterazione distributiva e con minime modifiche volumetriche date dalla necessità di ottenere le altezze utili per la corretta fruibilità dei vani; sono state effettuate solo alcune modifiche strettamente inerenti all'adeguamento funzionale. Le strutture murarie esistenti sono state consolidate mentre sia i solai che le coperture, fortemente ammalorati, sono stati ricostruiti nel rispetto delle tecniche e dell'utilizzo di materiali della tradizione costruttiva locale. Nel rifacimento delle coperture si è sperimentato un sistema costruttivo originale e innovativo rispetto alle tecniche consolidate di uso comune: la struttura lignea è stata sostituita, laddove possibile si sono recuperati

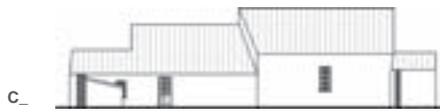
Fig. 7.31. Vista dei fabbricati antecedente alle operazioni di recupero.

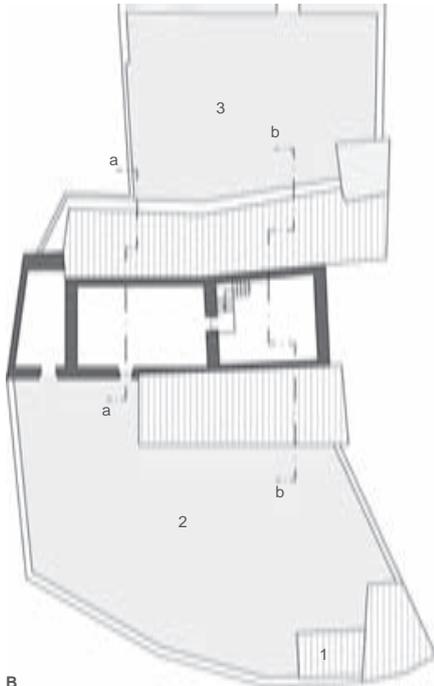
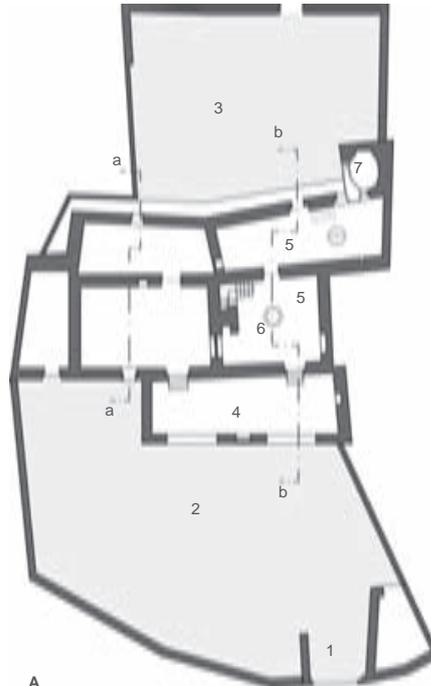
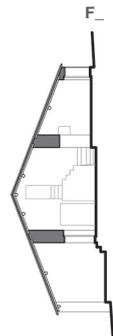
Fig. 7.32. Vista dalla corte principale.

e riutilizzati alcuni elementi in buon stato di conservazione; è stato ricostruito l'incannicciato al di sopra del quale, su foglio di pura cellulosa impermeabilizzante, sono stati posati mattoni in terra cruda intervallati da listelli di contenimento disposti perpendicolarmente rispetto alla pendenza della falda; gli strati successivi, infine, sono composti da un ulteriore strato impermeabilizzante disposto al di sopra dei mattoni e da una successione di listelli lignei che da un lato costituiscono il supporto del manto di copertura in coppi, dall'altro favoriscono una micro ventilazione sotto coppo. Questa soluzione che vede l'utilizzo della terra cruda come materiale per l'isolamento termico nella copertura mette in luce un approccio al progetto estremamente attento agli aspetti della sostenibilità legati all'utilizzo di materiali naturali e locali.
Grande importanza è stata data alle sistemazioni delle corti. La corte principale si caratterizza per una nuova pavimentazione, costituita da ampie lastre in coccio pesto e giunti in cotto, che connota in maniera astratta e continua l'intera superficie introducendo un elemento di innovazione linguistica necessario per estendere la fruibilità degli spazi esterni.

Fig. 7.33. Vista dei corpi di fabbrica in seguito alle operazioni di recupero dalla corte principale.

CASA-MUSEO ETNOGRAFICO_ rilievo

catastale storico 1900-1910

inquadramento urbano

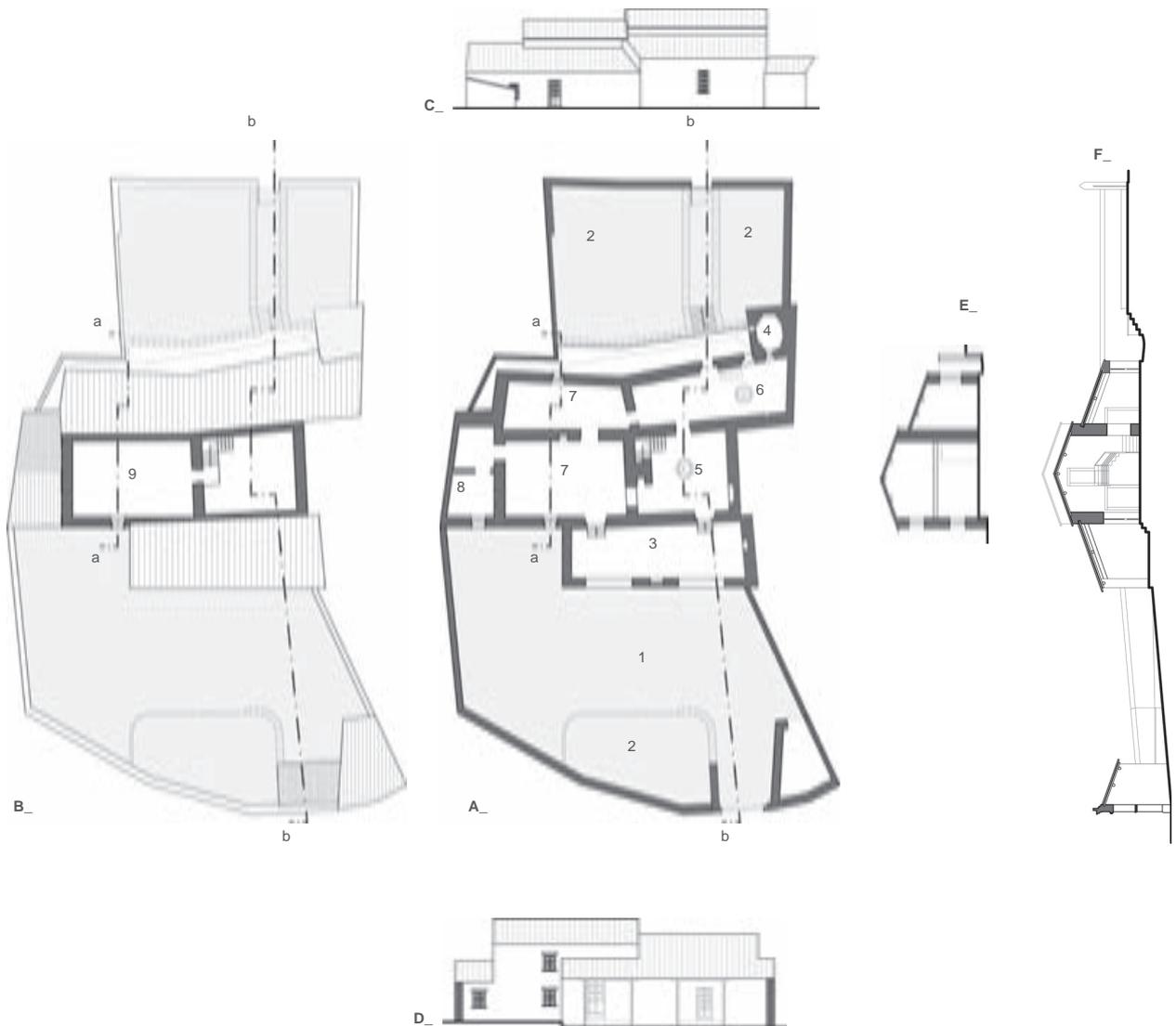
C_

D_

A_ Pianta piano terra
B_ Pianta piano primo
C_ Prospetto su corte retrostante
D_ Prospetto su corte antistante
E_ Sezione a-a
F_ Sezione b-b

Legenda

1_portale
2_corte antistante
3_corte retrostante
4_loggiato
5_cucina
6_forno

Vista della corte antistante.

CASA-MUSEO ETNOGRAFICO_ progetto

A_ Pianta piano terra
B_ Pianta piano primo
C_ Prospetto su corte retrostante
D_ Prospetto su corte antistante
E_ Sezione a-a
F_ Sezione b-b

Legenda

1_corte antistante
2_area verde
3_loggiato
4_forno
5_focolare
6_cucina
7_camera
8_servizi igienici
9_deposito cereali

1_trave in castagno dim. 18x18 cm
2_manto di copertura in coppi sardi
3_listelli orizzontali distanziati ogni 23 cm, dim. 4x2 cm
4_guaina in pura cellulosa impermeabilizzante
5_mattoni in terra cruda dim. 24x16x4
6_ incannicciato
7_orditura secondaria, arcarecci in abete dim. 12x10 cm
8_trave in abete dim. 22x22 cm
9_ringhiera in acciaio inox
10_intonaco in calce
11_battiscopa in legno di castagno
12_vespaio in pietrame
13_massetto in conglomerato di calce
14_malta di allettamento in calce
15_pavimentazione in lastre di arenaria

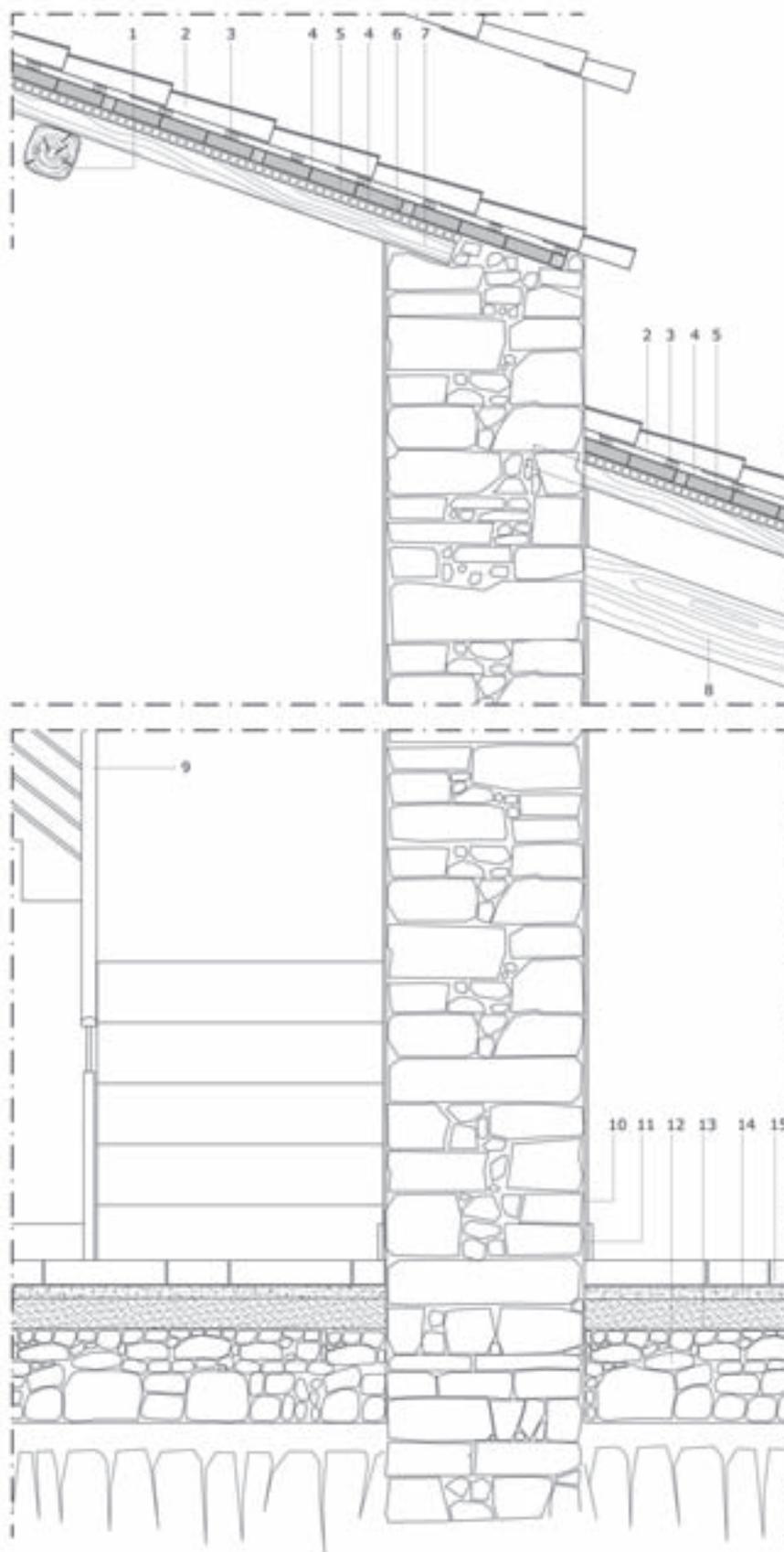



Fig. 7.34. Dettaglio costruttivo, sezione verticale.

0 25 50 75 cm

IL SISTEMA DELLE COPERTURE

Fig. 7.35. Vista del sistema di copertura del loggiato.

Fig. 7.36. Vista dall'intradosso del solaio di copertura.

IL PORTALE DI INGRESSO

Fig. 7.37. Vista del portale di ingresso dalla corte interna.

Fig. 7.38. Vista del portale monumentale dalla strada, restauro del prospetto con cornicione.

SISTEMAZIONE DELLE CORTI

Fig. 7.39. La corte principale, in primo piano la pavimentazione realizzata in coccio pesto e giunti in mattoni cotti rende unitario lo spazio della corte.

Fig. 7.40. La corte principale, vista verso il portale d'ingresso.

capitolo 8 CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

Fig 8.1a. Nuraghe Orolo - Bortigali, in trachite.

8.1. CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

La nostra Isola oltre ad essere la terra più antica dell'intero territorio italiano, è anche la più diversificata e quindi la più ricca dal punto di vista della tipologia delle rocce esistenti. Questa disponibilità da sempre si è tradotta nell'utilizzo conseguente della pietra come materiale principale dell'edilizia, a partire dalle epoche più remote, fino al secondo dopo guerra, quando si interrompe con l'avvento dei "moderni" materiali soprattutto quelli derivati dal cemento.

Scrive Marcello Serra nella sua opera "Sardegna quasi un Continente" [1]:

> *"… e mentre genera proprio con questa sua complessità multanime quella varietà di cadenze, di colori, di tagli panoramici e di prospettive che caratterizza il paesaggio sardo, giustifica anche l'incidenza che le pietre hanno sempre avuto nella storia e nella civiltà dei Sardi".*

E ancora:

> *"…le pietre incidono dunque profondamente sulla vita e sulla sorte dei Sardi, ma soprattutto sono il cardine fisso del paesaggio: le lunghe vene di basalto, di trachite, di granito, di calcare, germogliate da violenti cataclismi, si diramano per tutta l'Isola, ne determinano il carattere, la fisionomia e la sostanza."*

Considerando la disponibilità ed il conseguente utilizzo delle rocce locali nel campo dell'edificazione, la Sardegna si può dividere in sei grandi aree: quelle dei graniti, dei basalti, delle trachiti e delle rocce calcaree (calcari veri e propri, arenarie, marne calcaree etc.), quelle propriamente citate dal Serra, cui bisogna aggiungere l'area alluvionale del Campidano (della terra e quindi del "*ladiri*") e quella degli scisti, meno importante in termini di utilizzo specifico, ma comunque significativa per alcune peculiarità di queste rocce. Nelle Figure 2.1-5 del capitolo 2 sono state illustrate le estensioni di queste aree, da cui si possono evincere anche le sovrapposizioni di rocce di diversa tipologia.

Appare dunque naturale che la logica costruttiva, ben documentata almeno fin dall'epoca pre-nuragica, ma sopratutto in quella nuragica, sia sempre stata quella di utilizzare le pietre, in particolare quelle più prossime al luogo di edificazione e quindi immediatamente disponibili; fa eccezione qualche esigenza specifica che si riscontra ad esempio nei Pozzi Sacri dove l'utilizzo di conci isodomi, ha portato talvolta ad utilizzare materiale lapideo non necessariamente prossimo al luogo della costruzione. Osservando quindi le numerose costruzioni dell'epoca (oltre 7000 quelle documentate) si può notare come nelle specifiche aree siano stati edificati nuraghi in granito, in basalto, in trachite e in calcare. (Figura 8.1a, 8.1b, 8.1c, 8.1d)

Meno comuni, perché meno facilmente lavorabili in grossi conci, i nuraghi in scisto. Un raro esempio è rappresentato dal Nuraghe Sa Domu 'e s'Orcu di Jerzu. (Figura 8.2)

La necessità di dover livellare i piani di carico ha portato inoltre ad utilizzare, quali zeppe, delle pietre di piccole dimensioni inserite nel contesto murario; data la maggiore facilità di trasporto, in questi casi la loro provenienza poteva anche essere meno prossima alla struttura

Fig 8.1.b. Nuraghe Asoru – San Vito, in granito.

Nella pagina accanto:

Fig 8.1.c, 8.1d. In alto Nuraghe Losa – Abbasanta, in basalto; in basso Nuraghe Piscu-Suelli, in calcare.

Fig 8.2. Nuraghe Sa Domu 'e s'Orcu a Jerzu, in scisto.

ciclopica. Degli inserti in basalto sono stati trovati, ad esempio, in diverse costruzioni di epoca nuragica in calcare o in marna. (Figura 8.3)

Come denominatore comune in queste strutture, in qualità di materiale di assestamento/livellamento o come stucco per occludere gli spazi tra i conci, venne utilizzata la terra. Ancora oggi questo materiale è ben visibile in molti siti.

Uno degli aspetti più importanti e in un certo senso generalizzabile, è la ricorrente intrinseca compattezza di questi materiali, che ha consentito una buona conservazione di molte di queste strutture; problemi statici o di durevolezza, sono difficilmente da imputarsi alla qualità del materiale utilizzato. Non è un caso infatti se alcuni dei più importanti complessi nuragici oggi documentati, a volte fuori terra da millenni, si ritrovino in uno stato di conservazione invidiabile per monumenti di simile età.

Fig 8.3. Inserti di basalto nel sito nuragico di Genna Maria - Villanovaforrru.

Analizzando l'enorme patrimonio dell'architettura tradizionale minore, più specificamente quella dei centri storici dell'Isola, risulta evidente come questa logica non sia mutata nel corso dei secoli e come tale patrimonio sia ancora caratterizzato da un'articolata varietà di materiali lapidei. Molti paesi sono a tutt'oggi ben identificati da costruzioni dove la pietra locale, dal basalto, al granito, alla trachite, al calcare, trovanti o cantoni, rappresenta un punto di riferimento ben preciso e legato alle tradizione del luogo. (Figura 8.4a, 8.4b, 8.4c, 8.4d, 8.4e)

Nelle aree confinanti con presenza di più tipologie di rocce, si riscontrano costruzioni edificate con l'utilizzo di materiali diversi. Sono quindi documentati edifici (e paesi) in basalto e calcare, granito e trachite, calcare e scisto, granito e calcare, etc. (Figura 8.5a, 8.5b, 8.5c, 8.5d, 8.5e, 8.5f)

In dipendenza della disponibilità locale, il materiale lapideo è stato anche utilizzato come basamento in molte costruzioni in terra cruda sia per dare maggiore solidità al sistema, che per "isolare" la struttura dal terreno e impedire la risalita capillare dell'acqua. (Figura 8.6)

Fig 8.4.a, 8.4b. Vedute dei Centri Storici di Busachi (trachite), Olzai (granito).

Fig 8.4.c, 8.4d., 8.4e.Vedute dei Centri Storici di Bonarcado (basalto), Simala (calcare) Seui (scisto).

Fig 8.5.a, 8.5b, 8.5c, 8.5d, 8.5e, 8.5f. Esempi di murature con rocce miste.

Il materiale lapideo di diversa forma e pezzatura, di qualunque natura fosse, è stato sempre utilizzato in modo sapiente. L'Editto sulle chiudende del 1823, che autorizzava i privati a recintare terreni di uso pubblico, ha certamente favorito questa capacità di mettere insieme, pietre con forme e dimensioni diverse, con la costruzione di migliaia di chilometri di "muretti a secco" : nelle Figure 8.7 e 8.8a, 8.8b, 8.8c, 8.8d, sono rappresentati a titolo di esempio, un muretto a secco con "trovanti" e alcune strutture murarie caratterizzate da pietre di diversa pezzatura e tipologia.

Nelle zone che, all'epoca, potevano essere raggiunte dai luoghi di produzione della calce e quando la disponibilità economica lo permetteva, per la malta di allettamento si faceva uso di questo legante, in tutti gli altri casi si usava la terra (locale), sempre disponibile e a costi praticamente nulli.

Scrive Alberto della Marmora nell'Itinerario dell'Isola di Sardegna[2]:

> *"Le case di Tempio sono costruite con lastroni, o piuttosto con parallelogrammi allungati di granito che si cava regolarmente con zeppe di ferro; questi massi sono collocati uno sopra l'altro per mezzo di una argilla tenace, e rarissimamente con calce perché questa materia costa molto cara fino al presente, perché bisogna farla venire dal lontano sul dorso di cavallo; e di fatto i soli luoghi di tutta la Gallura dove la natura ha collocato la pietra calcarea sono il promontorio di Figari, e l'isola di Tavolara: essa è eccellente ma lontana da Tempio di 50 chilometri, con un cammino spaventevole, finora impraticabile ai carri, ed appena ai cavalli del paese. Così la calce si trasporta dall'Anglona, o piuttosto da Sedini, ma di qualità inferiore, ed il trasporto è difficile e costoso. Del resto gli edifizj sono solidissimi, solamente le case non sono imbiancate al di fuori, lo sarebbe un'opera perduta perché la calcina non fa lega nell'intonaco col granito, ed alla prima pioggia si scrosta."*

Fig 8.6. Simbiosi pietra - terra.

Fig 8.7. Esempio di sistemazione di "trovanti" nei muretti a secco.

Fig 8.4.c.d.e. Vedute dei Centri Storici di Sedilo (basalto), Simala(calcare), Seui (scisto).

Fig 8.8.a, 8.8b, 8.8c, 8.8d. "Organizzazione" sistematica di pietre di diversa pezzatura e tipologia in alcune strutture murarie.

8.2. LE BUONE PRATICHE

La straordinaria peculiarità di questo Patrimonio che è certamente riduttivo chiamare minore e non solo per il rilevante numero di costruzioni che ne sono coinvolte, richiede un'attenta riflessione sul come debba essere preservato, al fine di evitare ulteriori danni legati sia all'utilizzo di materiali dannosi o poco compatibili con quelli in opera, che alle interazioni con l'ambiente circostante. Per la conservazione dei centri storici, sarebbe opportuno stabilire dei criteri condivisi dai diversi Comuni e dalla Regione, al fine di promuovere interventi coerenti.

L'approccio è certamente di tipo culturale e dovrebbe vedere affiancati, in modo sinergico, Istituzioni e comuni cittadini. Nelle note che seguono vengono forniti alcuni spunti in merito.

Uno dei primi aspetti da considerare, a livello generale, è la salvaguardia dei materiali e degli elementi di fabbrica originari, e il loro ripristino con materiali e tecniche conformi. Infatti, per la sostituzione di conci o porzioni di muratura ammalorate, l'elevato costo del materiale lapideo oggi in commercio, anche per la sua minore disponibilità, renderebbe impari il confronto dei conci in pietra con il moderno e ormai diffuso blocchetto di cemento, facile da mettere in opera ed economico.

Si potrebbe, ad esempio, perseguire il recupero dei materiali delle vecchie abitazioni ormai irrimediabilmente demolite: pietre (trovanti o cantoni) in buono stato, ma anche le tegole che hanno, per giunta, una valenza comune su tutto il territorio e le travi di legno, ginepro, castagno o altro, logica che dovrebbe prevalere rispetto all'abbandono in discariche incontrollate o in campagna. (Figura 8.9a, 8.9b, 8.9c)

Fig 8.9.a. Discariche di materiale litico.

Anche alcune amministrazioni comunali stanno operando in tale direzione, specialmente nel campo della riqualificazione degli spazi pubblici e delle loro pavimentazioni, con risultati apprezzabili e proponendosi contemporaneamente come un importante esempio da seguire (Figura 8.10).

Come precisato nel Capitolo 3 sui materiali complementari, le malte utilizzate per l'allettamento dei conci, ma anche nelle stilature, erano a base di terra (più frequentemente) o di calce. Per interventi di entità contenuta, potrebbe essere cura dello stesso proprietario dell'edificio riproporre sistemi simili a quelli di origine: si tratti di calce o di terra i costi sono relativamente modesti e la facilità della messa in opera è tale da non richiedere maestranze specializzate.

Una possibile variante è legata ad alcune conoscenze tecnologiche: l'aggiunta alla terra di piccole frazioni (5-10 %) di calce aerea, meglio se sotto forma di grassello, è capace di dare a questi sistemi maggiore stabilità all'acqua. Questo accorgimento consentirà di dilazionare maggiormente i tempi di manutenzione.

Dopo la rimozione delle erbe infestanti, la malta dovrebbe essere ben compattata all'interno delle lacune al fine di ridurre al minimo l'ingresso dell'acqua. La pietra dovrebbe rimanere in risalto rispetto alla malta che rimarrebbe così più protetta. Sarebbe opportuno evitare l'uso delle moderne malte cementizie sia per la loro incompatibilità, culturale e materica, sia per le problematiche di degrado associato alla mobilitazione dei sali solubili, intrinsecamente presenti in questi sistemi. Tali fenomeni risultano ancora più evidenti quando le stilature vengono messe in risalto rispetto alla pietra. Nelle Figure 8.11a, 8.11b, 8.11c, vengono evidenziati alcuni esempi di degrado connessi all'uso improprio di malte cementizie.

Nei casi più critici, queste malte andrebbero rimosse e sostituite con quelle di terra e/o calce. A proposito ancora di sistemi cementizi, l'utilizzo del blocchetto di cemento è stato negli ultimi trenta-quaranta anni, così ricorrente e abbinato a qualunque tipologia litoide, da potersi considerare come la più diffusa forma di degrado introdotta dall'uomo (v. capitolo 4 sul degrado).

Fig 8.9.b, 8.9c. Discariche di materiale litico.

Fig 8.10. Restauro e riqualificazione di una pavimentazione storica del tipo "impreddu", con tecnologia tradizionale.

L'utilizzo di intonaci è importante quando devono svolgere il loro tradizionale compito di "superficie di sacrificio" nel caso cioè di murature caratterizzate da lapidei intrinsecamente porosi, come le calcareniti di alcuni centri della Nurra e dell'Anglona o come alcune trachiti. Nel caso ci siano concreti problemi di attacchi di natura chimica, fisica o meccanica da parte delle acque meteoriche, con conseguenti alveolizzazioni, polverizzazioni e perdite di materiale in genere, la loro presenza potrà limitare i danni, alla stessa stregua di quanto succede nelle costruzioni in terra cruda. (Figure 8.12a, 8.12b)

Se in questi casi l'intonaco può servire a nascondere inserti costruttivi poco coerenti con l'architettura storica o a proteggere lapidei di elevata porosità, in altri può essere da un lato "inefficiente" proprio sotto il profilo della protezione, in modo particolare se mediante interventi successivi e impropri ha finito per "nascondere" gli originali paramenti in pietra caratterizzati da grande compattezza e resistenza. Nei centri storici dove la

Fig 8.11.a, 8.11b, 8.11c. Degrado del materiale lapideo causato dall'improprio utilizzo di malte cementizie. Le macchie bianche sono legate ai sali solubili presenti nel cemento e mobilizzati dall'acqua.

Nella pagina accanto

Fig 8.13.a, 8.13b, 8.13c, 8.13d. Nella pagina a destra degrado su intonaci che nascondono la pietra originale in edifici ecclesiastici.

pietra "a vista" , sia essa il granito, il basalto, la trachite o il calcare, si può dire caratterizzi un intero paese, intonacare (spesso utilizzando malte cementizie) può risultare dannoso oltre a creare discontinuità nell'intero sistema edificatorio. La durevolezza della pietra è in questi casi, certamente maggiore rispetto a qualsiasi intonaco, la cui intrinseca porosità lo rende particolarmente sensibile all'azione dell'acqua con conseguenti attacchi biologici come la formazioni di muffe, muschi etc. (Figure 8.13a, 8.13b, 8.13c, 8.13d, 8.14)

Naturalmente, la decisione di lasciare le murature con la pietra a vista piuttosto che intonacarle si porta con sé fattori culturali molto importanti, e richiede una valutazione critica molto attenta. Da un lato infatti, si tratta di acquisire la maggior consapevolezza possibile circa il dato storico, ovvero su quale fosse all'atto della costruzione la reale condizione delle murature. E' ben noto che nei centri minori della Sardegna la muratura in pietra, con un basso tasso di lavorazione, veniva spesso lasciata a vista solo per un principio generale di economia, e che spesso l'intonaco costituiva un salto di qualità, soprattutto quando ad esso si associava un nuovo statuto culturale dell'edificio, quale quello per esempio che esprimeva il rivestimento di palazzetti di stile classicista. D'altro canto però, soprattutto a partire dalla seconda metà dell'800, si affermano in molte aree lavorazioni di materiali lapidei in blocchi più o meno regolarmente squadrati che hanno una evidente e intenzione di rappresentare con la faccia a vista una nuova dignità del paramento lapideo; senza dimenticare, inoltre, che esistono lavorazioni intermedie quali l'intonaco raso-pietra molto diffuse e di grande valenza architettonica. Occorrerà quindi valutare caso per caso, utilizzando molto la "regola dell'arte" per capire in ogni situazione quale sia la scelta migliore.

Fig 8.12.a, 8.12b. Paramenti murari in pietre calcaree di basse proprietà meccaniche e di grande porosità.

P

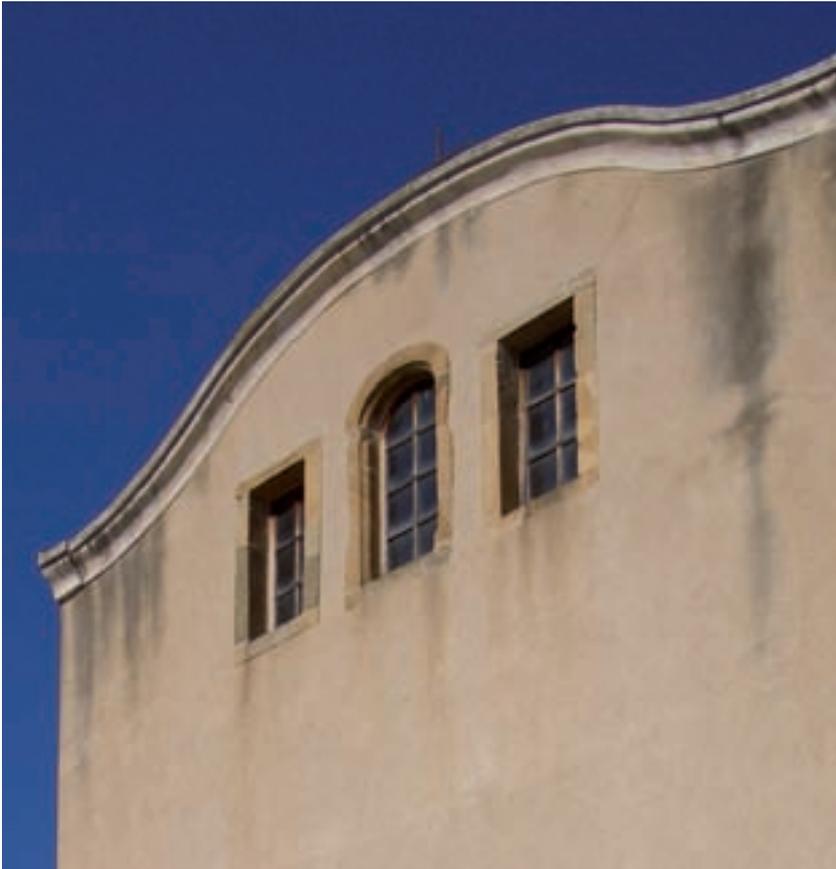



Fig 8.14. Differenza di conservazione e di linguaggio in due zone contigue dello stesso edificio parte intonacato e parte lasciato con pietra " a vista".

Fig 8.15. a, 8.15b, 8.15c, 8.15d. Degrado dovuto al distacco di intonaci dal paramento murario di comuni abitazioni.

Occorre inoltre aggiungere che quando il materiale lapideo è caratterizzato da una grande compattezza e quindi da una bassa porosità, l'aggancio della malta risulta più difficile, per cui la posa in opera deve essere particolarmente accurata. Laddove l'intonaco sia già presente, per una sua migliore conservazione sarà opportuno seguire alcuni accorgimenti come ripristinarne quanto prima la continuità in caso di distacchi di alcune parti (Figure 8.15a, 8.15b, 8.15c,8.15d). L'ingresso dell'acqua, facilitata dalla presenza di zone scoperte, porterebbe all'accentuarsi dei fenomeni di degrado. Queste patologie, per quanto detto, sono piuttosto ricorrenti.

L'intonaco viene anche utilizzato come supporto per la pittura quando si vogliono evitare troppi "appiattimenti" cromatici (peraltro, come detto sinonimo di peculiarità, come nel caso di alcuni paesi in granito, trachite o basalto).

Anche in questo caso, occorre valutare caso per caso e con estrema attenzione la compresenza nello stesso edificio di parti intonacate e a vista, motivando questa scelta con precisi riferimenti storici o con ragioni tecnicamente dimostrabili. Ad esempio nel caso di lapidei di grande compattezza, la pietra a vista nelle parti più basse dell'edificio, garantirebbe una maggiore protezione dall'acqua rispetto ad un intonaco sempre intrinsecamente poroso. (Figura 8.16) In altri casi questa compresenza risulta perlomeno discutibile.(Figura 8.17)

Parlando ancora di materiali inadatti negli interventi di restauro e recupero degli edifici dei Centri Storici, può essere opportuno mettere in evidenza l'incongruo utilizzo di composti di natura organica quali idrofobizzanti e/o consolidanti. Costosi, non sempre efficaci e totalmente incompatibili con il contesto storico e materico, questi prodotti, se possono risolvere alcuni problemi connessi al degrado di edifici moderni sono da considerarsi, in questi casi, assolutamente inutili. Fortunatamente nel

contesto di riferimentoquesti materiali sono pressochè assenti.

Come raccomandazioni generali, sarà sempre importante procedere seguito, per quanto di competenza dell'Istituzione o del privato, ad una costante manutenzione, una pratica poco seguita, ma che consente nel tempo di ridurre spese e tempi di esecuzione.

Una corretta regimentazione delle acque meteoriche e quindi il controllo della risalita capillare, l'eliminazione regolare della vegetazione infestante, la riproposizione delle parti di intonaco mancanti, delle malte di allettamento e delle coperture, se eseguite con la giusta regolarità, comportano spese minime sia in termini di materiale che di mano d'opera e spesso sono gestibili anche con il "fai da te".

Purtroppo non è sempre possibile dare seguito a questi propositi. Il fenomeno dell'abbandono, ad esempio, si è fatto in molti centri negli ultimi decenni piuttosto preoccupante. Per un edificio, specialmente se già soggetto a qualche patologia e quindi con problemi intrinseci oggettivi, non esiste peggior causa di degrado dell'essere lasciato a se stesso.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

[1] M. Serra, *Sardegna quasi un Continente*, Editrice Sarda Fratelli Fossataro, 1958.

[2] A. Ferrero Della Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, Edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, 1868, Traduzione Canonico Spano, Edizioni Trois Cagliari.

Fig 8.16. Edificio con la pietra "a vista" nei piani inferiori e intonacati nelle parti in elevato.

Fig 8.17. Esempio di "cattiva pratica", con compresenza "casuale" di intonaco e pietra a vista.